



# Changement climatique et nucléaire

Par Mycle Schneider,  
Directeur de WISE-Paris

## Sommaire

Avant-propos	2
1 Le nucléaire et les négociations sur le changement climatique	3
2 Le déclin du nucléaire	4
3 L'avenir du nucléaire : des hypothèses irréalistes	7
4 Le changement climatique ne sauvera pas le nucléaire	8
5 Le nucléaire face à d'autres options d'approvisionnement énergétique	9
6 Efficacité de l'approvisionnement : chaleur, électricité, gaz et énergies renouvelables	11
7 L'efficacité de la consommation finale contre le nucléaire	13
8 Les aspects économiques	14
9 L'effet de la dérégulation	16
10 Problèmes systémiques : la taille compte...	17
11 Les problèmes politiques : le facteur « risque »	18
12 Nucléaire <u>et</u> effet de serre ?	19
<i>Figure 1: Mises en service et arrêts de réacteurs dans le monde</i>	5
<i>Figure 2: Évolution du nombre de réacteurs en service en Europe de l'Ouest et en Amérique du Nord</i>	6
<i>Figure 3: Évolution du nombre de réacteurs en service dans le monde</i>	6
<i>Tableau 1 : Capacité nucléaire installée dans le monde, 2000-2050</i>	7

Figure 4:	<i>Représentation des émissions de CO<sub>2</sub> par kWh pour différents modes de production d'électricité selon l'industrie nucléaire</i>	10
Figure 5:	<i>Émissions de gaz à effet de serre par kWh pour différents systèmes d'approvisionnement énergétique</i>	11
Figure 6:	<i>L'ensemble nucléaire + fioul face à la cogénération</i>	12
Figure 7:	<i>Électricité nucléaire et émissions de CO<sub>2</sub> du secteur énergétique dans le monde</i>	19
Figure 8 :	<i>Électricité nucléaire, émissions totales de CO<sub>2</sub> et population</i>	20

## Avant propos

Une des grandes priorités du WWF est d'accélérer la mise en œuvre de solutions relatives à la lutte contre le renforcement de l'effet de serre. Il s'agit en effet d'un problème qui échappe à notre contrôle tout en constituant une menace de plus en plus pressante sur l'environnement, partout dans le monde. Sur tous les continents et dans la plupart des pays, les premiers signaux d'alarme du réchauffement climatique sont flagrants.

Pour autant, tous les moyens de réduction des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) à l'origine du changement climatique sont-ils acceptables ? Pas forcément. La mission du WWF, stopper la dégradation de l'environnement naturel et créer un avenir permettant aux humains de vivre en harmonie avec la nature, implique d'encourager les réductions de la pollution. Les solutions aux problèmes liés à l'énergie, comme celui du renforcement de l'effet de serre, ne peuvent donc apporter un bénéfice sur le long terme que si elles réduisent la charge de l'homme sur l'environnement, et ne se contentent pas de la déplacer.

A l'heure où les pays industrialisés concèdent de timides engagements sur la limitation des émissions de CO<sub>2</sub> dans le cadre du protocole de Kyoto, certains gouvernements font pression pour que le nucléaire fasse partie des principaux moyens de lutte contre le changement climatique. Le gouvernement japonais, par exemple, envisage de construire 13 à 20 nouveaux réacteurs nucléaires dans les 10 ans à venir pour respecter ses engagements de Kyoto.

Alors que les gouvernements se concentrent sur la mise au point de règles internationales pour la « mise en œuvre conjointe » et les « mécanismes de développement propre » dans le cadre du protocole de Kyoto, l'industrie nucléaire y voit un espoir de relancer une activité aujourd'hui au point mort. Le Canada, la France et le Japon figurent par exemple parmi ceux qui cherchent à promouvoir le nucléaire dans les pays en développement dans le cadre des « mécanismes de développement propre » du protocole. Ces mécanismes ont pour but de permettre aux pays industrialisés de respecter une partie de leurs engagements en réalisant dans les pays en développement des projets permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre, tout en fournissant une assistance dans le cadre du développement durable.

Les pays développés ont-ils de bonnes raisons pour s'embarquer à nouveau dans le nucléaire ? Les pays en développement se verront-ils imposer le nucléaire sous prétexte de « développement propre » ? Le WWF a demandé à WISE-Paris, Service Mondial d'Information sur l'Energie, de rédiger le présent rapport sur l'état des programmes nucléaires et de comparer les options technologiques pour la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>.

Pour le WWF, il est important de regarder vers le futur et non vers le passé. Il incombe à la communauté internationale de promouvoir des technologies énergétiques durables et économiques, afin d'empêcher de multiples problèmes environnementaux. Le WWF s'oppose par conséquent à ce que l'on accorde des « crédits carbone » à la construction, la modernisation, la mise à niveau et la maintenance de centrales nucléaires. Le protocole de Kyoto doit être un moyen d'encourager l'innovation et l'accroissement du marché des sources d'énergie propres. Ce point de vue n'est pas que celui du WWF ; il est largement partagé par d'autres organisations de protection de l'environnement ainsi qu'avec les représentants d'un milieu d'affaires en pleine croissance, qui considèrent également que les technologies reposant sur l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables offrent l'espoir d'un monde plus propre et plus sûr.

Jennifer Morgan  
Directrice de la Campagne Changement Climatique du WWF

Avril 2000

# Changement climatique et nucléaire

## 1 Le nucléaire et les négociations sur le changement climatique

L'industrie nucléaire multiplie ses efforts pour que le nucléaire soit intégré au processus de négociations post-Kyoto de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique. Ainsi le Nuclear Energy Institute (NEI) déclare-t-il : « *Les projets nucléaires, présents et futurs, sont, pour plusieurs raisons, une des meilleurs méthodes de générer des crédits d'émissions, et doivent être pris en compte au moment où les États-Unis développent l'utilisation de mécanismes de marché conçus dans le cadre de la création et l'échange de crédits d'émissions pour atteindre les objectifs environnementaux* ». <sup>1</sup>

Pour le NEI, il faudrait permettre au nucléaire de figurer à toutes les étapes des « mécanismes de flexibilité » de Kyoto : échange de permis d'émissions, mise en œuvre conjointe et mécanisme de développement propre (CDM - Clean Development Mechanism). L'industrie considère l'exploitation des réacteurs nucléaires comme une « action d'évitement » et juge qu'il faudrait accepter, dans le cadre des mécanismes de flexibilité, au même titre que l'éolien, le solaire ou l'hydroélectricité, l'augmentation de la production nucléaire par rapport au niveau de production de l'année 1990, soit par prolongation ou renouvellement des autorisations d'exploitation, soit grâce à de nouveaux réacteurs.

Il n'existe pas à l'heure actuelle de définition claire des conditions de mise en œuvre des mécanismes de flexibilité. Cependant, les mécanismes susceptibles d'être adoptés doivent contribuer à l'objectif fondamental de la Convention Climat d'empêcher « toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ».

Les données présentées dans les chapitres suivants montrent que le nucléaire n'est pas une source d'énergie « durable », pour les raisons suivantes :

- les investissements dans les projets nucléaires absorbent des financements qui font cruellement défaut aux programmes d'efficacité énergétique, alors que ceux-ci offrent en général un coût spécifique de réduction des émissions de gaz à effet de serre bien inférieur à celui du nucléaire ;
- les programmes nucléaires ont un ensemble d'effets systémiques négatifs, comme le besoin de grands réseaux électriques inefficaces, le besoin de personnel hautement qualifié, le blocage de l'innovation dans les domaines de l'approvisionnement et de la demande, ainsi que du développement de petites unités de production performantes ;
- les pays ayant recours au nucléaire figurent parmi les plus gros émetteurs de CO<sub>2</sub> au monde parce que les centrales de grande taille – qu'il s'agisse ou non de centrales nucléaires – ont tendance à conduire à des surcapacités structurelles à long terme et à stimuler la consommation d'électricité au lieu de favoriser son utilisation rationnelle ;
- le nucléaire ne produit que de l'électricité, alors qu'une partie importante des besoins énergétiques des sociétés modernes concernent la chaleur (ou le froid). Une fois ces éléments pris en compte, le nucléaire perd ses avantages en termes d'effet de serre au profit des installations de cogénération au gaz, et ses émissions de gaz à effet de serre sont de surcroît beaucoup plus importantes que celles des installations de cogénération au biogaz ;
- le nucléaire demeure une source d'énergie dangereuse, particulièrement difficile à contrôler, comme l'a encore montré l'accident survenu en 1998 à Tokai-Mura au Japon. Le problème des déchets nucléaires n'est pas encore résolu, et la prolifération nucléaire constitue une des menaces les plus importantes au niveau international.

C'est pourquoi une politique efficace de réduction des émissions de gaz à effet de serre doit s'appuyer sur l'efficacité énergétique et non sur le nucléaire.

---

<sup>1</sup> NEI Comments to the Department of State on Policies to Maintain the Contribution of Nuclear Energy to Carbon Abatement and Proposals for Possible Implementation of the Kyoto Mechanisms, février 1999.

## 2 Le déclin du nucléaire

En septembre 1954, Lewis Strauss, alors à la tête de l'Atomic Energy Commission américaine, lançait la promesse de l'ère de l'atome pacifique. L'électricité d'origine nucléaire devait devenir trop bon marché pour être comptabilisée (« too cheap to meter »), ce qui revenait à dire que l'investissement dans des compteurs électriques dépasserait le coût de production de l'électricité. La croissance rapide du nucléaire dans le monde devait offrir à tous une abondante source d'énergie. Vingt ans après l'annonce de Strauss, l'AIEA (Agence Internationale de l'Énergie Atomique) prévoyait encore une capacité installée dans le monde correspondant à 4.450 réacteurs de 1.000 MW. Les ressources en uranium devaient se raréfier rapidement, et les surgénérateurs, qui devaient produire plus de plutonium qu'ils n'en consomment, devaient devenir une source inépuisable d'électricité à bon marché.

En 1977, André Giraud, alors patron du Commissariat à l'énergie atomique (CEA), voyait se profiler une crise énergétique « en tout cas, avant la fin de ce siècle », à moins que les programmes nucléaires ne soient nettement accélérés. Il ajoutait que le contenu énergétique des réserves en uranium de la France, à peu près équivalent aux réserves pétrolières des champs de la mer du Nord, équivaldrait si l'on recourait aux surgénérateurs à deux ou trois fois les réserves pétrolières de l'Arabie Saoudite. A. Giraud prévoyait par conséquent qu'il y aurait 540 surgénérateurs de la taille de Superphénix en service dans le monde à la fin du vingtième siècle.

Aujourd'hui, plus de 45 ans après les promesses faites par L. Strauss et 23 ans après les prévisions d'A. Giraud, la situation du nucléaire est bien différente. Fin 1999, l'AIEA dénombrait 433 réacteurs nucléaires en service dans 32 pays (17 % des pays représentés aux Nations Unies), soit moins de 8 % des projections faites par l'AIEA 25 ans plus tôt. L'actuel gouvernement français a fermé Superphénix, et il n'y a pas un seul surgénérateur au plutonium de taille industrielle en service dans le monde. Seuls cinq pays – les USA, la France, le Japon, l'Allemagne et la Russie – produisent plus de 100 TWh (milliards de kWh) par an ; ils représentent ensemble plus de 70 % de la production mondiale d'énergie nucléaire.

Le nucléaire a produit en 1999 7,5 % de l'énergie primaire commerciale mondiale, loin derrière le pétrole (40 %), le charbon (25 %) et le gaz naturel (25 %). La plupart des ressources renouvelables, comme le bois de feu, le biogaz, la paille, la bouse de vache, etc. ne sont pas commercialisées et n'apparaissent par conséquent pas dans les statistiques. Par ailleurs, en 1998 la consommation mondiale d'énergie primaire a baissé pour la première fois depuis 1982.<sup>2</sup>

Malgré les progrès techniques spectaculaires réalisés au cours des dix dernières années, le rendement des meilleures centrales au gaz n'atteint pas plus de 58 %, contre 35 % pour les turbines traditionnelles anciennes. Par contre, la cogénération de chaleur et d'électricité atteint des rendements de 90 % dans les installations modernes, et jusqu'à 70 % dans des installations plus anciennes. La cogénération décentralisée, avec des rendements importants, est particulièrement intéressante dans le secteur résidentiel pour le chauffage et l'eau chaude. Par contre, le nucléaire offre de piètres performances pour ces usages : la quantité d'énergie finale relative fournie par le nucléaire, en particulier pour les besoins de chauffage, ne représente pas plus de 30 % (un réacteur nucléaire chauffé de l'eau pour faire tourner une turbine qui produit de l'électricité transportée vers les habitations où elle est utilisée pour le chauffage ou l'eau chaude sanitaire).

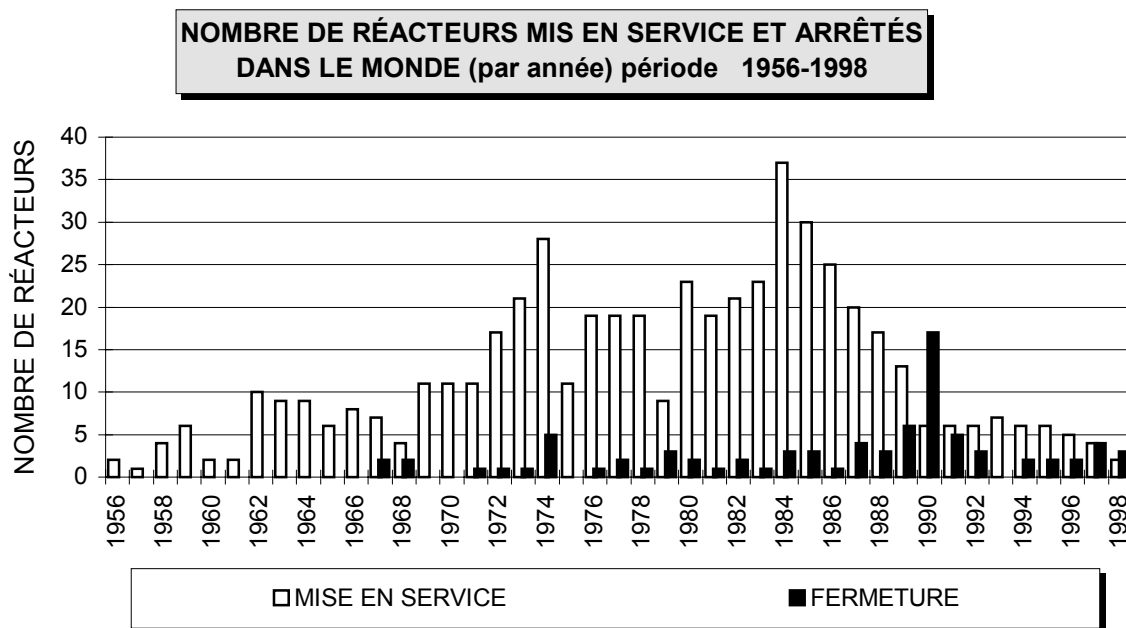
Globalement, le nucléaire ne représente que 2,5 % de la demande d'énergie finale de la planète, mais il représente 17 % de l'électricité commerciale, avec des disparités importantes entre les pays où sa part varie de moins de 5 % (Brésil, Chine, Inde, Kazakhstan, Pays-Bas, Pakistan) à plus de 50 % (Belgique, France, Lituanie).

Les centrales nucléaires ont des délais de réalisation (de la planification d'un réacteur à sa mise en service industrielle) très longs. On peut ainsi se faire une bonne idée d'ensemble des perspectives du nucléaire en regardant à quel moment les réacteurs actuellement en service ont été commandés et quand leur construction a commencé. La dernière commande américaine à ne pas avoir été annulée par la suite remonte à 1973. Tous les réacteurs actuellement en service aux Etats-Unis ont été commandés entre 1963 et 1973. Aucun pays européen, à part la France, n'a commandé de réacteur depuis 1980. En France, le dernier chantier de construction s'est ouvert en 1993, et le réacteur Civaux-2 est couplé au réseau depuis le soir de Noël 1999. (Voir figure 1).

---

<sup>2</sup> BP Amoco Statistical Review of World Energy 1999, 2000.

Figure 1 : Mises en service et arrêts de réacteurs dans le monde



Source : PRIS, CEA 1998, ATOMWIRTSCHAFT, Doc. WISE-Paris

En 2000, il n'y a donc plus aucun réacteur en construction, commandé ou même planifié en Amérique du Nord ou en Europe de l'Ouest, et on a même enregistré une baisse nette du nombre de réacteurs en service dans ces deux régions depuis 1989, année où a été atteint le maximum de 294 unités en service, contre 276<sup>3</sup> en 1999. (Voir figure 2).

On commence à observer, avec un décalage de dix ans, ce déclin au niveau mondial. En 1999, il y avait 433 réacteurs en service, soit sept de moins que deux ans auparavant (440). (Voir figure 3).

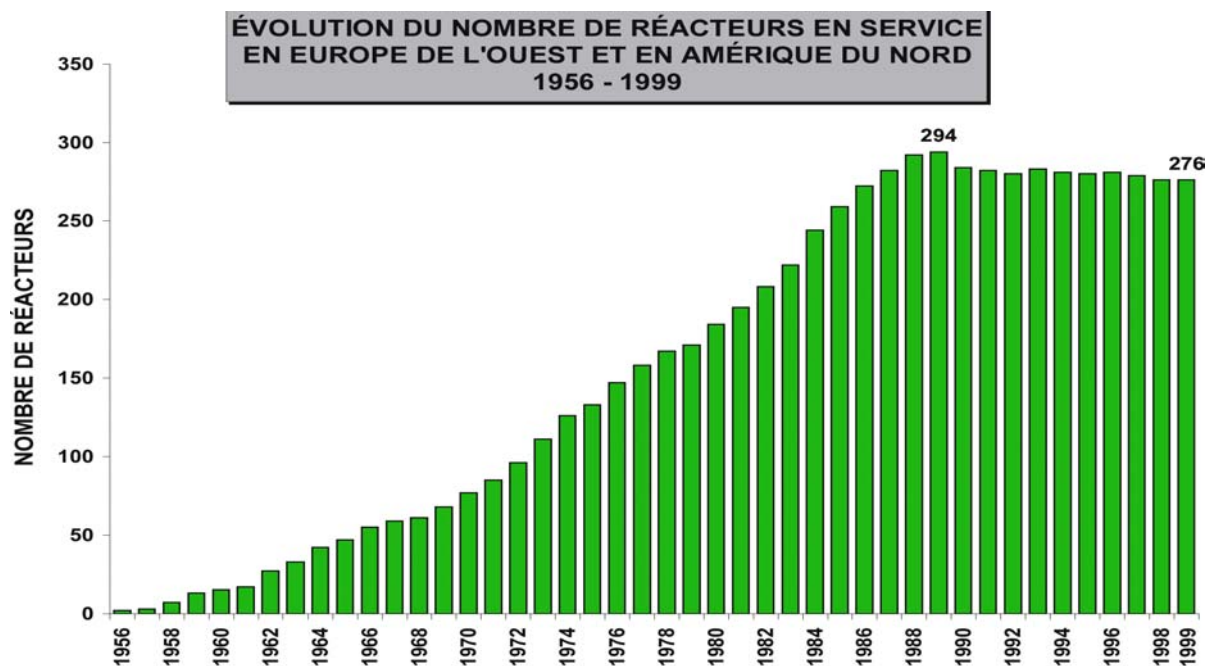
Les perspectives du nucléaire sont maigres. Fin 1999, l'AIEA listait 38 réacteurs en construction dans 14 pays. Toutefois une analyse plus fine montre que peu de ces chantiers ont de réelles chances d'aboutir. 13 de ces réacteurs sont situés dans des pays de l'ancien bloc de l'Est, confrontés à d'importants problèmes économiques. Certains d'entre eux sont « en construction » depuis plus de 15 ans. Il en est de même pour les interminables chantiers d'Argentine, du Brésil, d'Inde ou d'Iran.

Ce n'est pas l'Asie du Sud-Est qui y changera grand-chose. Il y a 17 réacteurs en construction dans cette région (7 en Chine, 4 en Corée du Sud, 4 au Japon, et 2 à Taiwan). Mais une des conséquences immédiates de la crise économique qui a secoué l'Asie en 1998-99 a été un ralentissement économique généralisé, de 1,5 % en moyenne sur l'ensemble des pays d'Asie, mais avec une chute de 6 % ou plus en Corée du Sud, en Thaïlande et en Indonésie. Cette crise a entraîné une annulation massive des commandes de nouveaux moyens de production électriques. La Thaïlande envisage même de geler une partie de ses capacités de production électrique existantes, sans parler de l'achèvement de la capacité supplémentaire déjà programmée. La Chine a clairement annoncé qu'elle allait réduire ses investissements dans le développement de capacités de production supplémentaires, et le rôle du nucléaire, qui ne représente que 0,6 % de la production d'électricité, restera marginal. La demande d'énergie en Chine, en Corée du Sud et en Thaïlande a baissé de plus de 3 % en 1998 alors que se poursuivait la chute de la consommation des pays de l'ancienne Union-Soviétique, entamée il y a dix ans.<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Il convient de noter ici que ce chiffre inclut sept réacteurs au Canada et un en Allemagne, actuellement arrêtés, qui ne seront certainement jamais remis en service.

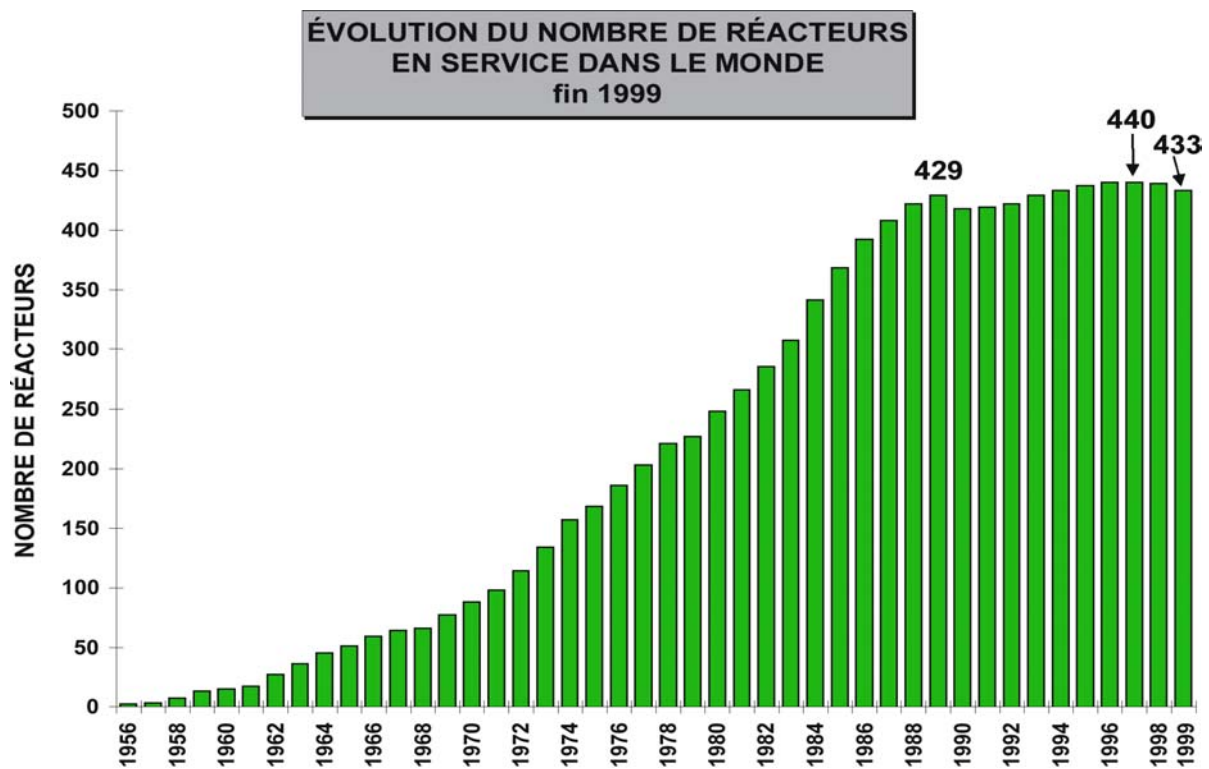
<sup>4</sup> BP Amoco Statistical Review of World Energy 1999.

Figure 2 : Évolution du nombre de réacteurs en service en Europe de l'Ouest et en Amérique du Nord



Source : PRIS, CEA 1998, ATOMWIRTSCHAFT, AEIA 2000

Figure 3 : Évolution du nombre de réacteurs en service dans le monde



Source : PRIS, CEA 1998, ATOMWIRTSCHAFT, AEIA 2000

### 3 L'avenir du nucléaire : des hypothèses irréalistes

*« Et si rien n'est construit, depuis de nombreuses années et pour de nombreuses années encore, alors on est sur la voie de la sortie du nucléaire, quel que soit le nom qu'on lui donne. »*

Werner Müller, Ministre allemand de l'Économie, mai 1999.

A peu d'exceptions près, partout dans le monde, les programmes nucléaires ont dépassé leur apogée et ont entamé leur déclin. Il reste à savoir à quelle allure va se produire ce déclin, et si une renaissance est possible. La question du changement climatique est considérée comme *la* question cruciale qui pourrait influencer les décideurs quant au devenir des programmes nucléaires, existants ou futurs. Outre l'argument environnemental, ce sont les aspects économiques ou politiques qui sont fréquemment utilisés dans le débat, aussi bien pour que contre le nucléaire.

L'Agence de l'Énergie Nucléaire de l'OCDE (AEN) a développé début 1999 trois scénarios sur le développement possible du nucléaire.<sup>5</sup>

**Tableau 1 : Capacité nucléaire installée dans le monde, 2000-2050 (en GWe), selon les trois scénarios développés par l'Agence de l'Énergie Nucléaire de l'OCDE**

Scénario	2000	2010	2020	2030	2040	2050
<b>I – Arrêt</b>	360	354	257	54	2	0
<b>II – Poursuite du développement</b>	367	453	569	720	905	1 120
<b>III – Déclin suivi d'une reprise</b>	355	259	54	163	466	1 120

Le premier scénario suppose l'arrêt des réacteurs nucléaires existants à la fin d'une durée de vie projetée de 40 ans, sans aucun remplacement autre que les unités déjà en construction. La capacité installée diminuerait de 29 % d'ici 2020 et le dernier réacteur serait retiré de la production aux environs de 2045. Les auteurs de l'AEN reconnaissent que ceci « ne correspond pas à l'évolution la plus pessimiste » envisageable, puisque pour de nombreuses unités il est prévu un retrait sensiblement plus rapide que dans le scénario de l'AEN. L'Energy Information Administration du Department of Energy américain, dans une étude récente sur les perspectives énergétiques mondiales, projetait dans son scénario bas une baisse de 49 % de la capacité nucléaire installée dans le monde à l'horizon 2020.<sup>6</sup>

Les auteurs de l'AEN notent également que parmi tous les pays membres de l'OCDE, seuls le Japon et la Corée du Sud ont pris des engagements fermes sur l'augmentation de leur capacité nucléaire installée d'ici 2015. Par contre, 102 des 358 réacteurs (soit 19 % de la capacité installée) exploités dans les pays de l'OCDE en 1998 auront été retirés du réseau en 2015. Le scénario de l'AEN essaie de faire passer l'idée que les émissions de CO<sub>2</sub> vont augmenter et que, en l'absence de solutions à court terme dans le domaine des énergies renouvelables, le gaz naturel pourrait devenir « la seule source d'énergie » pour un certain nombre de pays. Cependant le scénario ne pose pas la question de comment pourrait se répartir l'approvisionnement énergétique de ces mêmes pays s'ils s'appuyaient sur une approche par la demande.

Un second scénario de l'AEN est basé sur l'hypothèse d'un développement continu des programmes nucléaires. La capacité installée augmenterait de 55 % d'ici 2020 et aurait plus que triplé en 2050, pour fournir 12 % de la consommation mondiale d'énergie primaire commerciale et 35 % de l'électricité. Les auteurs notent que pour atteindre ce résultat, une « modification rapide » des conditions défavorables au développement de l'énergie nucléaire serait nécessaire. De plus, les questions de sûreté nucléaire et le stockage final des déchets doivent être « résolus » pour gagner la confiance du public. Les autres « problèmes » associés à ce scénario pointés par les

<sup>5</sup> NEA Bulletin, 1<sup>er</sup> trimestre 1999.

<sup>6</sup> voir <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo99/nuclear.html>



auteurs incluent le rythme de construction de 35 000 MW – environ 30 unités – *par an* entre 2020 et 2050, le niveau extraordinaire d'investissement requis, et la recherche de sites appropriés.

Le dernier scénario de l'AEN illustre un arrêt rapide du nucléaire – moins 85 % en 2020 – suivi d'une renaissance rapide pour atteindre le même niveau que le deuxième scénario, soit 1 120 GW installés en 2050. Les causes du déclin sont la combinaison de « structures de prix défavorables » et de « la défiance du public ». Les principales motivations avancées pour une forte reprise du nucléaire sont la croissance de la demande mondiale d'électricité, l'absence de technologie éprouvée pour remplacer le nucléaire, les objectifs de protection de l'environnement, la sécurité énergétique et la diversité d'approvisionnement. L'industrie de construction des réacteurs devrait atteindre des dimensions sans précédent vers la fin de la période considérée : il faudrait installer 55 000 MW à 75 000 MW – ou 50 à 70 unités – *par an*. Par comparaison, le maximum historique est de 38 unités connectées au réseau en 1984. Toutefois, replacé dans une période de quelques années, le rythme moyen n'a jamais dépassé 20 unités par an.

Les auteurs de l'AEN concluent que le scénario d'arrêt aurait « des répercussions très graves sur l'environnement et, dans de nombreux pays, sur la sécurité d'approvisionnement et la diversité des sources de combustibles ». Le troisième scénario refléterait l'intérêt du nucléaire pour « limiter le risque lié au changement climatique et moins dépendre des combustibles fossiles ».

S'il semble plus difficile de prédire la situation du nucléaire à long terme, la situation actuelle et à court terme est assez facile à appréhender. Il est d'autant plus surprenant que les auteurs de l'étude de l'AEN – comme tant d'autres – continuent à bâtir des scénarios sur des hypothèses qui sont tout simplement impossibles à réaliser.

Les chapitres suivants tentent de présenter les raisons qui font non seulement qu'une renaissance du nucléaire est peu probable, mais aussi que le nucléaire pourrait disparaître plus vite que ne le pensent certains.

## 4 Le changement climatique ne sauvera pas le nucléaire

L'étude de l'AEN présentée ci-dessus n'est qu'un des exemples les plus récents des nombreuses tentatives menées ces dernières années par le lobby nucléaire afin d'utiliser la question du changement climatique pour sa propre survie. L'industrie nucléaire a ainsi développé dans plusieurs pays des campagnes de promotion massives sur ce thème auprès du grand public. L'argument généralement utilisé est le calcul des émissions de gaz à effet de serre que le nucléaire permettrait d'éviter, par comparaison avec le charbon. Les chiffres concernant ces « émissions évitées » donnés par l'industrie sont souvent trompeurs, car l'alternative n'est pas nécessairement le charbon. Ainsi en Europe quasiment toutes les nouvelles centrales sont des centrales à gaz, à l'exception notable de l'accroissement important de la capacité installée en éolien dans certains pays de l'Union Européenne. Les émissions de CO<sub>2</sub> par kilowattheure (kWh) d'électricité produite dans les centrales à gaz représentent environ les deux tiers ou la moitié de celle des centrales à charbon. (Voir figure 5). Le lobby américain déclare avec son institut, le NEI : « Dans le monde, le nucléaire est, et continue à être, la première grande source d'électricité primaire produite sans émission de gaz à effet de serre ».<sup>7</sup>

Une analyse plus poussée montre que le NEI prend ses désirs pour des réalités au lieu de s'appuyer sur les faits. Il n'y a pas un seul réacteur nucléaire dans les tuyaux en Amérique du Nord ou en Europe Occidentale, et le potentiel asiatique a été largement surestimé. Quant au projet franco-allemand d'EPR (European Pressurized Reactor), c'est plus un serpent de mer qu'une réalité industrielle. Le gouvernement allemand a supprimé tous les financements concernant le développement de ce réacteur, et quoi qu'en disent publiquement les compagnies allemandes, elles sont peu sincères. Werner Müller, Ministre allemand de l'Économie, a révélé que dès 1994, à l'occasion de rencontres confidentielles avec les dirigeants politiques sur les perspectives de l'EPR, des représentants de compagnies d'électricité avaient dévoilé « *qu'ils n'avaient jamais eu l'intention de réaliser un tel projet* ». Müller a même ajouté : « *Je ne pense pas que l'EPR pourrait être un jour compétitif au plan international* ».<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> NEI, op. cit.

<sup>8</sup> Discours au Jahrestagung Kerntechnik, Karlsruhe, 18 mai 1999.

Sans disposer d'un réacteur de référence, la vente ne serait-ce que d'une unité à l'étranger est également plus difficile. La compagnie américaine Westinghouse, qui a réussi à faire franchir à son réacteur « avancé » AP600 toutes les étapes du processus d'autorisation, en a fait l'amère expérience. Selon son PDG, Charles Pryor, « *quand Westinghouse a essayé de vendre le concept en Chine, les Chinois ont demandé pourquoi les Américains n'en construisaient pas, si c'est un si bon réacteur* ».<sup>9</sup>

Avant d'aborder les autres aspects économiques ou politiques importants pour les perspectives du nucléaire, il convient de soulever quelques points techniques ou systémiques :

- il faut élargir l'approche des émissions évitées, afin d'y inclure d'autres sources d'énergie ainsi que l'efficacité énergétique ;
- le nucléaire engendre aussi des émissions de gaz à effet de serre qu'il faut prendre en compte dans les comparaisons ;
- la finalité ne doit pas être la production d'électricité, mais le service énergétique rendu (chauffage, eau chaude, éclairage, communication, etc.)
- le choix du nucléaire conditionne la taille des réseaux, et implique donc le recours à des grands systèmes de transport et de distribution ;
- le choix du nucléaire a également d'autres conséquences systémiques :
  - une forte stimulation de l'accroissement de la consommation d'électricité au détriment de l'efficacité énergétique ;
  - le besoin d'une abondante main d'œuvre hautement qualifiée, dans la construction et pour l'exploitation des réacteurs ;
  - le blocage de l'innovation dans le secteur électrique en général ;
  - le besoin d'une exploitation stable sur le long terme des infrastructures permettant de garantir la sécurité de l'emploi et d'organiser la gestion très sophistiquée des matières nucléaires, des déchets radioactifs, des systèmes de contrôle de la radioactivité et de suivi tout au long de la chaîne du combustible nucléaire.

## 5 Le nucléaire face aux autres options d'approvisionnement énergétique

L'analyse comparative « cycle entier », montre que le nucléaire engendre indirectement des émissions de gaz à effet de serre, comme toutes les autres options. Ces émissions sont essentiellement dues à l'importante consommation d'électricité au niveau des usines d'enrichissement de l'uranium. Les émissions de gaz à effet de serre du nucléaire dans un pays donné dépendent donc en grande partie de la composition de la production d'électricité dans ce pays.

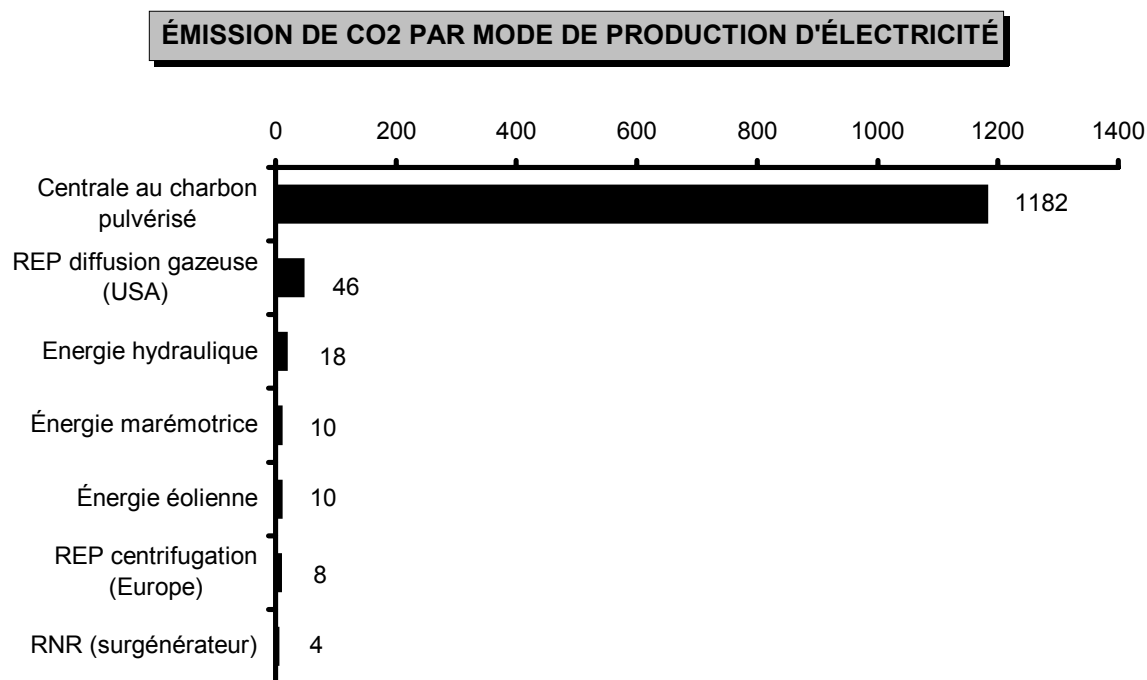
Dans la mesure où les émissions de carbone par kWh sont en moyenne plus élevées aux États-Unis que dans les pays de l'Union Européenne, et du fait que les usines d'enrichissement de plusieurs pays de l'UE utilisent le procédé de la centrifugation, moins énergivore que la diffusion gazeuse, les émissions de gaz à effet de serre associées au nucléaire sont plus élevées aux États-Unis que dans les pays nucléaires européens. Les émissions de gaz à effet de serre du programme nucléaire français n'ont pas été calculées, mais devraient être comparables à celles des autres pays de l'Union Européenne, car si l'usine d'enrichissement française utilise la diffusion gazeuse, la part du nucléaire et de l'hydroélectricité dans la production d'électricité est plus élevée que dans les autres pays européens.

Il est évident que le nucléaire engendre des émissions de gaz à effet de serre, et cela est généralement reconnu par la communauté nucléaire, comme le montre la figure 4. La position du NEI est donc d'autant plus surprenante, et son obstination à s'appuyer dans ses déclarations sur des faits incorrects a poussé plusieurs ONG, dont l'organisation de Ralph Nader, Public Citizen, à porter plainte auprès de la Commission Fédérale du Commerce (FTC – Federal Trade Commission), pour publicité mensongère et trompeuse (« false and misleading » advertising).

---

<sup>9</sup> Nucleonics Week, 10 juin 1999.

Figure 4 : Représentation des émissions de CO<sub>2</sub> par kWh pour différents modes de production d'électricité selon l'industrie nucléaire



Source : Revue Générale Nucléaire, mai-juin 1998

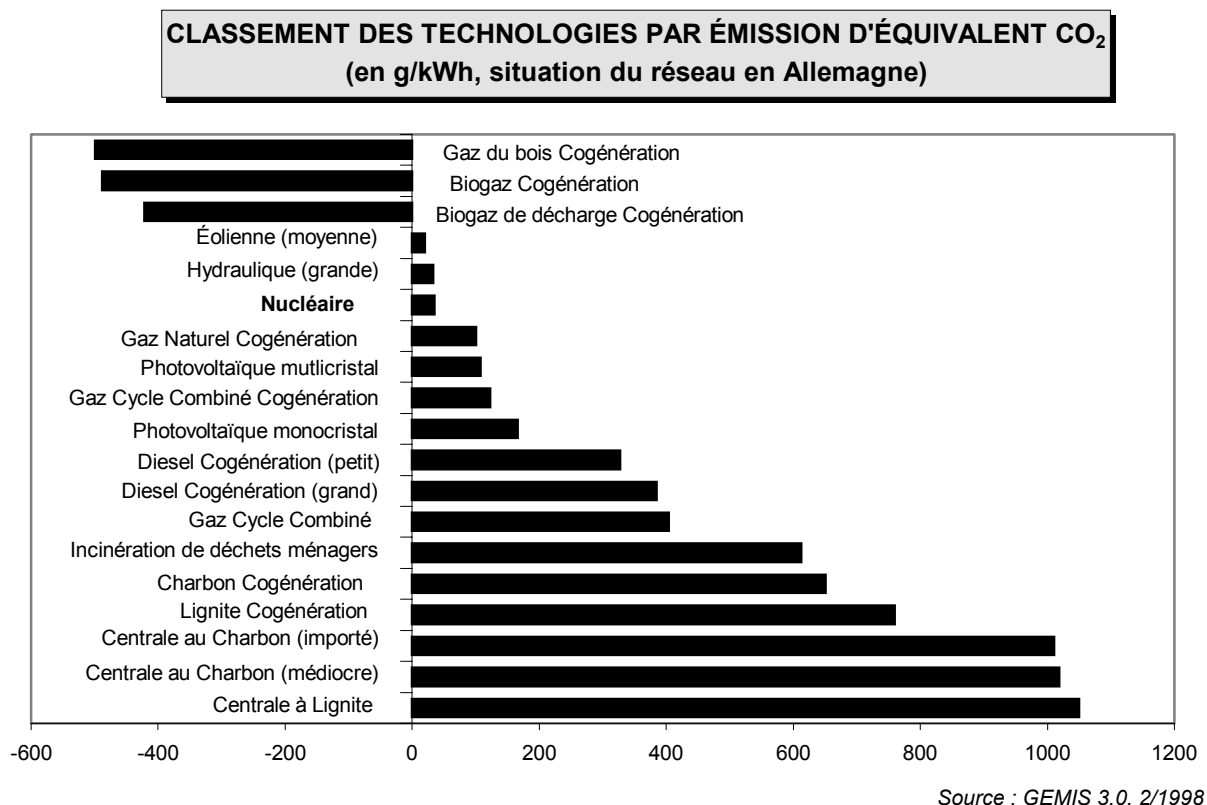
Indépendamment des particularités nationales ou régionales, la consommation globale d'électricité des activités de la chaîne du combustible nucléaire est importante. En France, par exemple, la consommation du secteur nucléaire est de l'ordre de 25 TWh par an, ce qui correspond à la production moyenne de 4,5 réacteurs français de 900 MW.

Des analyses « cycle entier » plus poussées ont été réalisées par des experts indépendants, afin de comparer les performances d'une palette assez large de systèmes d'approvisionnement énergétiques différents, dans diverses conditions d'exploitation. Les calculs des émissions de gaz à effet de serre par kWh réalisés par l'Öko-Institut en Allemagne sont en général comparables aux calculs menés par différentes sources de l'industrie nucléaire. Les résultats respectifs sont pour le nucléaire de 35 g contre 8 à 60 g, pour l'éolien de 20 g contre 10 g ; pour l'hydraulique de 33 g contre 18 g. Mais il existe de nombreuses technologies de combustion qui s'inscrivent dans la marge importante pointée par l'industrie nucléaire entre les émissions du nucléaire et du charbon. (Voir figure 5). Les centrales à gaz, et même les installations de cogénération au charbon ont des taux d'émission bien moins importants (entre 100 et 650 g/kWh) que les centrales à charbon conventionnelles (environ 1.000 g/kWh).

Les meilleures performances ont été atteintes avec les technologies de cogénération basées sur le biogaz (bois, décharges ou origine agricole) et il faut encore s'attendre à des avancées technologiques importantes dans ce domaine. Selon le Laboratoire National des Energies Renouvelables américain (NREL – National Renewable Energy Laboratory), la transformation de biomasse en gaz de synthèse permettrait quasiment de doubler le rendement de la plupart des installations actuelles au biogaz.<sup>10</sup> Mais même avec le recours aux technologies actuelles des centrales au biogaz, les émissions dues à la production d'électricité sont plus faibles que celles « déplacées » du côté de la production de chaleur. En d'autres termes, s'il fallait produire en complément la chaleur par un autre procédé (le pétrole dans les calculs présentés ici), les émissions auraient été bien supérieures aux émissions des systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité au biogaz. C'est pourquoi les technologies basées sur le biogaz bénéficient d'un « crédit d'émissions » qui se traduit par une valeur négative dans la figure 5.

<sup>10</sup> Michael T. Burr, "Biogas Rising", Independent Energy, Vol. 29, Issue 6, Juillet-Août 1999.

Figure 5 : Émissions de gaz à effet de serre par kWh pour différents systèmes d’approvisionnement énergétique



## 6 Efficacité de l’approvisionnement : chaleur, électricité, gaz et énergies renouvelables

Toute société industrielle consomme de l’énergie sous forme de chaleur et d’électricité. Pour un ménage français moyen, le chauffage représente les 2/3 de la consommation d’énergie, et l’électricité le reste. Les centrales thermiques classiques transforment environ un tiers de l’énergie primaire en électricité, les deux tiers restant étant relâchés sous forme de chaleur perdue dans l’environnement. À cela, il faut ajouter des pertes de l’ordre de 7 à 10 % au niveau du réseau de transport. Un quart seulement de l’énergie primaire est ainsi disponible sous forme d’énergie finale chez le consommateur.

Dans la plupart des installations de cogénération, où l’on produit à la fois de la chaleur et de l’électricité, la plupart de la chaleur perdue est récupérée et utilisée pour des usages industriels ou pour le chauffage urbain. Le rendement atteint 75 à 90 %, qu’il convient de comparer aux 35 à 58 % des centrales conventionnelles.

Par contre, la chaleur perdue des centrales nucléaires n’est pas récupérée (à l’exception de quelques installations dans l’ex-URSS et de quelques projets anecdotiques du type élevage d’alligators dans une centrale française...), et aucun projet ne le prévoit. Il faut pour alimenter en chaleur les sociétés nucléarisées, utiliser des sources d’énergie complémentaires. Pour illustrer cet aspect, on peut ajouter à l’électricité nucléaire la quantité de chaleur produite par un chauffage central au fioul. Ceci correspond à une hypothèse médiane entre le chauffage au gaz (qui engendre des émissions moins élevées de gaz à effet de serre) et le chauffage électrique (qui est plus polluant, car comme il s’agit d’un usage saisonnier, il est généralement assuré en grande partie par des combustibles fossiles – pétrole ou charbon en général – en particulier dans les pays ayant une forte part de nucléaire). Les résultats sont présentés dans la figure 6.

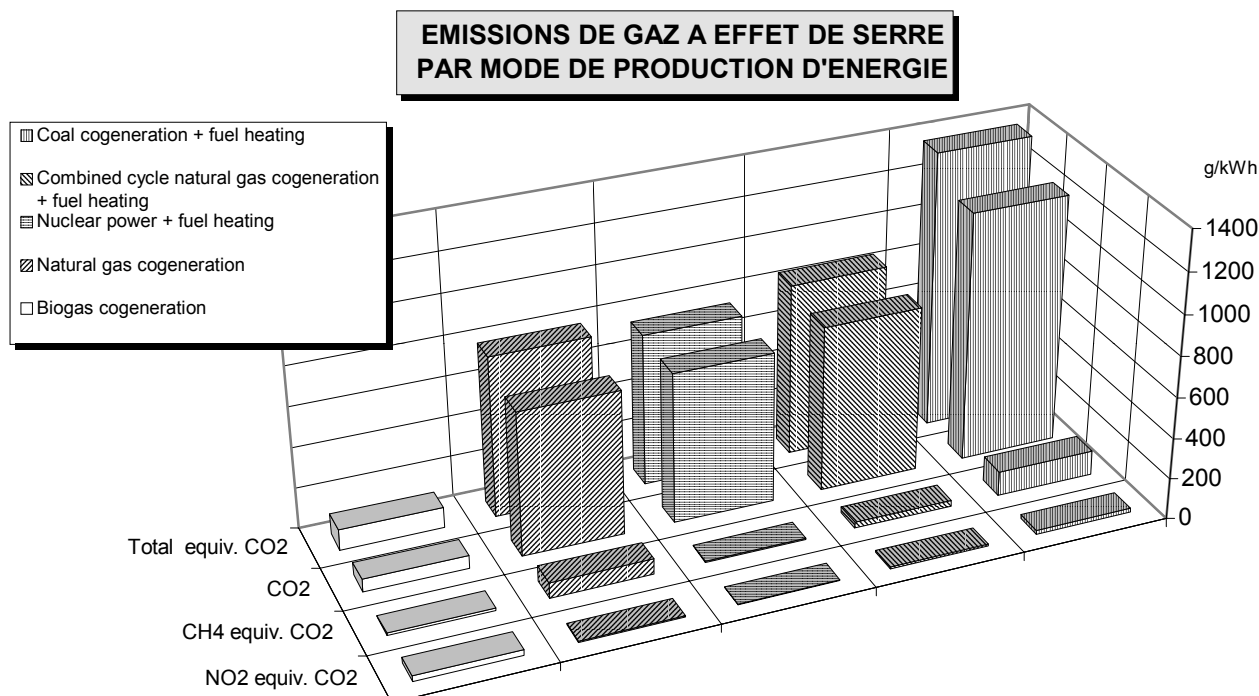
Pour garder la cohérence dans les calculs, l’Öko-Institut a comparé les émissions engendrées par la production d’1 kWh d’électricité et de 2 kWh de chaleur par différents systèmes. Alors que les centrales au biogaz ou au gaz

naturel produisent généralement un tiers d'électricité et deux tiers de chaleur, les centrales à charbon, les centrales à cycle combiné au gaz ou les centrales nucléaires produisent peu ou pas de chaleur récupérable. Dans le cas du nucléaire, on a ajouté aux émissions engendrées par la production d'1 kWh nucléaire, les émissions provenant de la production de 2 kWh de chaleur par un chauffage central au fioul. Les résultats sont impressionnants. Dans le cas nucléaire + fioul, les émissions sont du même ordre de grandeur que les systèmes basés sur le gaz naturel. L'avantage sur un système basé sur la cogénération au charbon + fioul n'est plus que d'un facteur inférieur à deux, contre un facteur 300 si les émissions du nucléaire sont simplement comparées à l'électricité produite par une grande centrale thermique au charbon. Les centrales aux biogaz ont les émissions les plus faibles, au moins sept fois inférieures aux autres systèmes.

Il est intéressant de noter que la production d'électricité en cogénération atteint les pourcentages les plus importants dans les pays non-nucléaires ou faisant peu de nucléaire, comme par exemple en Europe Occidentale le Danemark (plus de 50 % en 1998, avec une projection de 70 % en 2010), les Pays-Bas (35 % en 1998, avec une projection de 50 % en 2010) et la Finlande (33 % en 1998). Environ 4 500 MW en petites unités de cogénération ont été installés en Allemagne entre 1991 et 1998. En Finlande, le bois et la tourbe – qui alimentent en général des installations municipales en cogénération – produisent presque autant d'énergie primaire (27 %) que le pétrole (28 %), alors que le nucléaire se maintient à 17 %. Par ailleurs, les pays européens fortement nucléarisés ont commencé à développer leur potentiel de cogénération, comme la France (3 % en 1998, projection de 5 % en 2010), la Belgique (5 % en 1998, projection de 11 % en 2010), la Suède (7 % en 1998, atteignant 11 % en 2010).<sup>11</sup> L'Union Européenne s'est fixée comme objectif de doubler la capacité installée en cogénération à l'horizon 2010. À l'heure actuelle, elle représente 13 % en moyenne de la production d'électricité dans l'Union Européenne. Même en France, elle a connu en 1998 un développement sans précédent, et la capacité installée a été multipliée par près de 10 pour atteindre 5 300 MW.

Le Japon, dont la politique officielle a été très pro-nucléaire jusqu'à présent, a une des parts de cogénération les plus faibles des pays industrialisés. En mars 1999, la capacité installée en cogénération était de 4 627 MW, soit 1,8 % de la capacité de production totale d'électricité.

Figure 6 : L'ensemble nucléaire + fioul face à la cogénération



Source : Oko-Institut

La technologie des turbines à gaz a enregistré au cours des dix dernières années une augmentation spectaculaire des rendements. Les turbines à cycle combiné actuelles atteignent des rendements de près de 60 %, et les pers-

<sup>11</sup> La plupart de ces données proviennent de Market Line, cité par Peter Hennicke, Wuppertal Institute, à l'Université Technique de Brandebourg, 2 juillet 1999.

pectives sont prometteuses. Les performances d'efficacité sont importantes à cause de la sensibilité élevée du prix du gaz dans le coût global du kWh (investissement assez bas, part importante du combustible dans le coût). Même si il est clair que les énergies renouvelables resteront loin derrière l'amélioration de l'efficacité de la production et de la consommation d'énergie pour leur importance dans la réduction des gaz à effet de serre dans le court terme, certains développements récents dépassent largement les attentes.

L'éolien a ainsi enregistré une forte poussée depuis le début des années quatre-vingt-dix. Deux exemples importants sont les programmes éoliens allemand et indien. La réglementation en Allemagne oblige les compagnies à acheter l'électricité éolienne produite par les producteurs indépendants à 75 % du prix moyen de vente de chaque compagnie. Le programme éolien s'en est trouvé stimulé et a propulsé l'Allemagne au rang de premier producteur éolien du monde, en huit ans (entre 1991 et 1999). La capacité installée éolienne a, pour la seule année 1999, augmenté de 1 569 MW (soit plus de 50 %), et a atteint 4 444 MW, soit l'équivalent de quatre réacteurs nucléaires et la moitié de la capacité éolienne installée dans l'Union Européenne. La production a augmenté deux fois plus vite que la capacité de production, et a atteint 6 TWh en 1999. En Inde, la capacité éolienne installée est passée en quatre ans, de 54 MW en 1993 à 900 MW en 1997. Dans la même période, les installations au biogaz ont également enregistré une croissance impressionnante, et sont passées de 1,8 millions à 2,5 millions d'unités.

En Chine, les énergies renouvelables, essentiellement l'hydraulique, sont la deuxième source d'électricité, et représentaient en 1996 environ 17 % de la production totale.

## 7 L'efficacité de la consommation finale contre le nucléaire

Le Conseil Mondial de l'Énergie, fédération de haut niveau des producteurs d'énergie, concluait lors de sa conférence d'Houston, en septembre 1998 : « *L'amélioration de l'efficacité au niveau de la consommation de l'énergie offre la capacité la plus immédiate, la plus abondante et la plus rentable de réduire la consommation et la dégradation de l'environnement* ».

La Chine est souvent présentée dans le débat sur l'effet de serre non seulement comme l'acteur principal – ce qui est logique puisqu'elle représente 21,5 % de la population mondiale – mais aussi comme la menace principale. Or on observe justement l'inverse. La Chine offre un exemple brillant de politique d'efficacité énergétique réussie dans un contexte de forte croissance économique. Depuis 1980, la Chine a réduit de moitié son intensité énergétique (consommation d'énergie par unité de produit national brut, PNB), alors que le PNB par habitant a été multiplié par quatre. En conséquence, les émissions de CO<sub>2</sub> ont augmenté « modestement » seulement de 136 % pendant la même période.<sup>12</sup>

La consommation énergétique de la Chine a augmenté d'un facteur 2,5 depuis 1978 et a atteint 1 440 millions de tonnes équivalent pétrole en 1997, pour représenter aujourd'hui environ 63 % de la consommation totale de l'Asie de l'Est (hors Japon). De façon plus globale, la Chine représentait 9,6 % de la consommation mondiale d'énergie en 1997 et les projections à l'horizon 2020 indiquent que la part de la Chine pourrait atteindre 16 %. En 1997, la consommation d'énergie par habitant des États-Unis était plus de cinq fois plus élevée que la moyenne mondiale et près de 12 fois plus élevée que celle de la Chine. Si la Chine avait eu en 1997 le même niveau de consommation par habitant que les États-Unis, elle aurait consommé plus d'énergie que le reste du monde réuni. Les émissions de carbone par habitant suivent de près la consommation d'énergie : les États-Unis émettent 5,6 tonnes de carbone par habitant, la moyenne mondiale s'établit à 1,1 tonne, et la Chine 0,7 tonnes par habitant.<sup>13</sup>

De nombreuses études ont évalué le potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique dans les pays industrialisés. Pour les pays d'Europe occidentale, le potentiel est généralement de l'ordre de 30 à 50 %. Pour les États-Unis, l'EPRI (Electric Power Research Institute), proche des compagnies d'électricité, a estimé le potentiel technique d'économie d'énergie à 30 % de la consommation totale d'électricité. Les calculs du Rocky Mountains Institute, d'Amory Lovins, montrent un potentiel bien supérieur, soit plus de 70 % de la consommation d'électricité actuelle.

<sup>12</sup> voir l'excellente analyse de Shong Xiang Zhang, "Is China taking actions to limit its greenhouse gas emissions? Past evidence and future prospects", in "Promoting development while limiting greenhouse gas emissions - Trends and baselines", UNDP-WRI, 1999.

<sup>13</sup> US DOE-EIA, October 1999, <http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/chinaenv.html>

L'analyse des scénarios de sortie du nucléaire en Allemagne montre qu'un abandon rapide (1 à 2 ans) entraînerait une augmentation à court terme des émissions de gaz à effet de serre, mais que ces émissions repasseraient au bout de quatre ans en dessous du niveau de référence.<sup>14</sup> En Allemagne, il y a une telle surcapacité que le modèle des scénarios de sortie n'est pas déterminé par la capacité disponible. Selon l'Öko-Institut, la capacité installée totale en Allemagne était de 109 GW (109 000 MW) en 1998, avec environ 100 GW techniquement disponibles. La puissance appelée la plus élevée au cours de cette année-là a été de 72,4 GW, la surcapacité représentant environ 27 GW. Il faut comparer cette surcapacité à la capacité nucléaire installée qui est de 21 GW. En d'autres termes, l'arrêt du nucléaire en Allemagne ne pose aucun problème technique de capacité, même dans le court terme. Cependant, l'allongement du processus de sortie permet de réduire et de raccourcir l'élévation temporaire des émissions de gaz à effet de serre, si on utilise les potentiels d'économie d'énergie et les technologies de substitution à faible niveau d'émissions. D'ici 2020, la contribution des énergies renouvelables pourrait passer du niveau actuel de 6 % à quelques 35 %, avec 40 % de l'électricité produite dans des installations de cogénération.

L'analyse des scénarios DETENTE de sortie du nucléaire pour la France indique que la consommation totale de combustibles fossiles en 2010 pourrait se stabiliser à la fois dans le scénario de poursuite et dans le scénario de sortie.<sup>15</sup> La surcapacité électrique en France est encore plus élevée qu'en Allemagne. La pointe historique de la demande a atteint 70 MW en 1993, alors que la capacité installée est actuellement de 114 GW, dont 63 GW (ou 55 %) sont nucléaires. Techniquement, cela ne poserait aucun problème de fermer à court terme les 35 réacteurs les plus anciens sur les 59 réacteurs en service, tout en conservant une capacité de réserve confortable de 19 %.

Le point clé concernant la stabilisation des émissions de CO<sub>2</sub> dans le cadre d'un scénario de sortie du nucléaire en France consiste en la limitation de la consommation d'énergie du secteur des transports et la conversion d'une bonne partie des systèmes de chauffage électrique, notamment par le recours au chauffage urbain en cogénération.

## 8 Les aspects économiques

On ne peut dépenser un franc qu'une fois. La question cruciale reste donc : la réduction des émissions de gaz à effet de serre à quel coût ? Cette question n'est pas nouvelle. La première tentative de comparaison des coûts entre les stratégies de réduction des émissions basées sur l'efficacité énergétique et sur le nucléaire a été menée par Bill Keepin et Gregory Kats, alors au Rocky Mountain Institute, dès décembre 1998.<sup>16</sup> Ils présentaient ainsi leurs principaux résultats :

- « *Même un programme nucléaire mondial massif soutenu sur plusieurs décennies ne pourrait 'résoudre' le problème de l'effet de serre.(...)* ;
- *La clé pour améliorer le réchauffement climatique causé par l'utilisation des combustibles fossiles est d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'énergie ;*
- *Accroître l'efficacité électrique est près de sept fois plus rentable que le nucléaire pour limiter les émissions de CO<sub>2</sub> aux USA ».*

D'autres analyses similaires ont mis en évidence un avantage économique écrasant en faveur des programmes d'efficacité énergétique même dans un pays très nucléarisé comme la France. Une étude empirique<sup>17</sup> menée par l'INESTENE (Institut d'Evaluation des Stratégies Economique sur l'Energie et l'Environnement en Europe) sur les investissements dans la centrale nucléaire de Fessenheim et des actions de maîtrise de l'énergie dans la même région sur une période de 10 et 15 ans, concluait que :

---

<sup>14</sup> "Einstieg in den Ausstieg", Energy Division, Öko-Institut, Darmstadt, Juillet 1999.

<sup>15</sup> pour une description rapide des scénarios DETENTE, développés par l'INESTENE, voir Pierre Radanne, "La sortie du nucléaire en France et la réduction des impacts sur l'effet de serre - l'offre de l'énergie", dans "Stratégies énergétiques entre les risques du nucléaire et de l'effet de serre", Actes de Colloque, Sénat, Paris, 8-10 avril 1994

<sup>16</sup> Energy Policy, Vol. 16, n° 6, Décembre 1988.

<sup>17</sup> Pierre Radanne et al., "Analyse comparative des impacts économiques du site nucléaire de Fessenheim et des actions de maîtrise de l'énergie en Alsace", INESTENE, étude commandée par le Groupe Alsacien d'Information sur le Nucléaire (GAIN), mars 1989.

- Il en coûterait environ deux fois moins d'investir dans des économies d'énergies pour l'industrie que dans la construction d'une centrale nucléaire de capacité équivalente ;
- ce coût est environ 1,4 fois plus élevé pour les investissements dans des économies d'énergie pour le secteur commercial et résidentiel, mais globalement, le retour sur investissement des mesures d'efficacité énergétique est quatre fois plus rapide que celui d'une centrale nucléaire.

Selon les estimations de l'Electric Power Research Institute, institut sponsorisé par les compagnies d'électricité américaines, on pourrait économiser aux États-Unis environ 28 % d'électricité dans 13 applications à un coût inférieur à 4 cents par kWh. De son côté, le Rocky Mountain Institute estime le potentiel d'économie d'énergie réalisable à un coût inférieur à 5 cents par kWh à environ 70 %.<sup>18</sup>

Il n'existe quasiment aucune remise en cause de la rentabilité de l'efficacité énergétique. Les coûts du nucléaire les plus bas sont ceux fournis pas le gouvernement français. La dernière édition des « coûts de référence »<sup>19</sup> donne une estimation du coût du kWh nucléaire entre 16,7 et 21,2 en centimes (soit 2,7 à 3,4 cents américains/kWh) Cependant, c'est seulement dans une situation de prix du gaz élevés et de cours du dollar défavorable que le nucléaire peut être concurrentiel en base (utilisation uniforme sur l'année), et il est largement plus coûteux que le gaz pour des durées moyennes d'appel. En France, comme dans d'autres pays, les turbines à gaz offrent la solution la moins onéreuse, en particulier en cogénération. Mais les turbines à vapeur au charbon peuvent également être compétitives, si la vapeur peut être utilisée dans de bonnes conditions économiques.

Les données concernant les coûts de production du nucléaire dans un pays donné sont très variables en fonction de leur origine. En 1994, dans le cadre d'une étude commandée par le ministère néerlandais de l'Environnement, l'IPSEP (International Project on Sustainable Development), sous la direction de Florentin Krause, a évalué les données concernant les coûts du nucléaire dans différents pays.<sup>20</sup> Ses estimations pour le coût du kWh français étaient de 4,8 à 7 cents américains, et bien plus pour le nucléaire allemand et anglais. Krause notait en conclusion : « *Vu les limites [...] concernant les aspects économiques et la sûreté, la contribution du nucléaire à la réduction de l'effet de serre risque d'être moins importante que prévu. Sa contribution en Europe pourrait se limiter essentiellement à quelques réacteurs supplémentaires déjà en projet* ». Pour l'instant, les faits lui ont donné raison.

Les problèmes économiques liés à l'option nucléaire pour l'accroissement de la capacité de production semblent évidents. Mais qu'en est-il des conditions économiques de l'arrêt du nucléaire ? Une analyse approfondie menée récemment par le bureau d'étude LBD en coopération avec l'Öko-Institut pour l'Agence de l'Environnement de Hambourg a évalué les conditions économiques de l'arrêt rapide de quatre réacteurs dans lesquels la compagnie d'électricité municipale détient des parts.<sup>21</sup> La conclusion est frappante : « *L'arrêt à court terme de l'utilisation du nucléaire et l'investissement dans des turbines à gaz à cycle combiné représente un avantage économique clair pour HEW [la compagnie d'électricité de Hambourg]. Pour ce qui est des centrales de Brunsbüttel et Stade, une fermeture rapide est fortement recommandée* ». Il faut noter que cet exercice se limitait à l'analyse de la seule option de substitution du nucléaire par des centrales à gaz à cycle combiné. Il ne comportait aucun effort particulier d'efficacité énergétique qui aurait certainement renforcé l'écart économique des solutions nucléaire et non nucléaire.

L'étude HEW a notamment révélé que les prix du kWh étaient largement subventionnés par les revenus qu'apportent les intérêts générés par le placement des provisions faites par anticipation de la fin de la chaîne du nucléaire (combustibles irradiés, gestion du plutonium et des déchets). Jusqu'à récemment, les compagnies d'électricité avaient la possibilité de réaliser des investissements non imposables sur des sommes énormes (au total environ 70 milliards de DM, soit 37,5 milliards de dollars). Les revenus ont été utilisés pour subventionner le nucléaire et en masquer le coût réel. Désormais, une partie de ces fonds doit être dissoute (12 milliards de DM, soit 6,4 milliards de dollars, dans un premier temps) et le revenu de ces investissements est soumis à une importante taxation. En fait, pour certaines compagnies d'électricité allemandes, l'argent investi provenant des fonds de fin de cycle représente plus de 50 % du capital. En d'autres termes, en cas de besoin de trésorerie, la compagnie serait contrainte de vendre. Un risque financier très élevé !

<sup>18</sup> cité par Peter Henicke, Wuppertal Institut, at Brandenburg Technical University, 2 juillet 1999.

<sup>19</sup> Ministère de l'Industrie, "Les coûts de référence de la production électrique", DGEMP-DIGEC, mai 1997.

<sup>20</sup> Florentin Krause et al., "Nuclear Power - The Cost and Potential of Conventional and Low-Carbon Electricity Options in Western Europe", IPSEP, commandité par le Ministère néerlandais de l'Environnement, El Cerrito, California, 1994.

<sup>21</sup> Dieter Viefhues, et al., "Gutachten über die Wirtschaftlichkeit der HEW-Kraftwerke", commandité par l'Agence de l'Environnement de la municipalité de Hambourg, juillet 1999



En comparaison, les coûts des centrales à cycle combiné au gaz aux États-Unis ont chuté de 44 % entre 1982 et 1999. Et une réduction supplémentaire de 15 % devrait intervenir d'ici 2007.<sup>22</sup> Et c'est justement ce que les banques apprécient. Un contexte technologique dynamique dans un environnement économique favorable. Un coût d'investissement peu élevé et un temps de retour rapide. Le Environmental Assessment Source Book<sup>23</sup> de la Banque Mondiale résume ainsi les problèmes du nucléaire :

*« Même avec des coûts d'opération faibles, les coûts d'investissement élevés des réacteurs nucléaires empêchent de les considérer comme l'alternative de moindre coût, sous des hypothèses raisonnables de prix du charbon et du pétrole.*

*Les réacteurs nucléaires ne sont par conséquent pas économiques puisqu'au vu des coûts actuels et projetés ils ne paraissent pas constituer l'option la moins chère. Il est de plus manifeste que les données sur les coûts habituellement fournies par les opérateurs sont considérablement sous estimées et omettent souvent de prendre correctement en compte l'évacuation des déchets, le démantèlement, et d'autres coûts environnementaux. De plus, la grande taille de nombreux réacteurs nucléaires par rapport au dimensionnement des systèmes des pays en développement entraîne des risques de surcapacité importante si la demande de ces pays ne suit pas les prévisions d'augmentation. (...)*

*Le problème est encore compliqué par la perception du secret et de l'absence de sincérité qui caractérise l'exploitation des centrales nucléaires. Ces dernières années, plusieurs accidents ont renforcé le doute dans l'esprit du public sur la compétence de l'industrie et la sûreté du processus. Beaucoup mettent en question la crédibilité de cette industrie. »*

Le système bancaire international n'a jamais aimé le nucléaire. Ni la Banque Mondiale, ni la Banque Asiatique de Développement n'ont jamais financé de centrales nucléaires. De son côté, la Banque Européenne de Reconstruction et de Développement a du mal à prendre une décision sur son premier prêt d'envergure concernant un projet de construction (K2/R4 en Ukraine). En interne, beaucoup s'opposent à ce montage financier.

Ce n'est pas le changement climatique qui changera l'attitude de la Banque Mondiale. Dans les pages "Questions Réponses" de son site WEB, on trouve ainsi :

*« Question : Étant donné son travail sur l'expression monétaire de la valeur du carbone évité (shadow carbon value), à quel prix la Banque Mondiale pense-t-elle que le nucléaire soit justifié dans la lutte contre l'effet de serre ?*

*« Réponse : Les problèmes du nucléaire dépassent largement les seuls coûts économiques. Le nucléaire n'est pas acceptable dans plusieurs régions du monde à cause du problème de la sûreté des réacteurs, de la gestion des déchets nucléaires et de la prolifération des matières fissiles. L'arbitrage est donc très complexe et ne peut être réduit à une simple expression monétaire du carbone. »*

## 9 L'effet de la dérégulation

La tendance générale à la libéralisation du secteur de l'énergie a des répercussions importantes sur les programmes nucléaires. Certaines tendances sont très claires. La concurrence est déjà féroce en Europe. Dans une des régions où la libéralisation est la plus avancées, les prix de l'électricité pour le secteur résidentiel dans le cadre de la « bourse de courant » scandinave Nordpool ont été réduits de moitié au cours des dernières années. En Allemagne, des quantités importantes d'électricité sont déjà négociées par des compagnies de courtage, à la recherche des meilleures offres sur le marché, qui proposent des services à la carte. Les prix ont baissé de l'ordre de 30 % en une seule année. Dans certaines localités des États-Unis, les compagnies d'électricité ont du mal à conserver leurs clients et elles envisagent d'imposer des pénalités de retrait élevées.

Les premières victimes de la dérégulation sont les centrales nucléaires. Aux États-Unis, six réacteurs ont déjà été fermés (Big Rock Point, Millstone-1, Connecticut Yankee, Main Yankee, Zion 1 et 2) suite à l'ouverture du marché de l'énergie à la concurrence. Différents experts estiment que jusqu'à 40 % des réacteurs américains pourraient ainsi être fermés prématurément, parce qu'il ne sont pas compétitifs. D'autres réacteurs sont vendus à un prix dérisoire. En 1998, deux réacteurs ont été vendus au prix de 20 millions de dollars chacun, soit 3 à 4 %

<sup>22</sup> Boni Biagini, Dave King, "Nuclear Power: Too expensive to solve global warming", The Environment Trust, 1999.

<sup>23</sup> World Bank, "Environmental Assessment Source Book" Vol. III "Guidelines for Environmental Assessment of Energy and Industry Projects", World Bank Technical Paper 154, 1992

de leur valeur comptable. En juin 1999, les deux réacteurs de Nine Mile Point ont été vendus pour un montant total de 226,7 millions de dollars, alors que la tranche 2 n'a été mise en service qu'en 1998 à la suite d'un investissement de 6,3 milliards de dollars. En septembre 1999, les trois réacteurs de Millstone étaient mis aux enchères. Pour l'Union of Concerned Scientists, le nucléaire n'est plus « too cheap to meter », mais « too cheap to matter » (trop bon marché pour compter).

La compétition des installations décentralisées en cogénération dans le cadre de la dérégulation du marché effrayent les exploitants nucléaires. EDF, la compagnie française, note ainsi dans une analyse interne : « *La compétition, qui existe déjà sur les usages, va s'accroître demain à l'amont, c'est-à-dire à la production, avec un effet accru de pression sur les prix et donc sur les coûts. Dans cette situation, la compétitivité du kWh sera plus que jamais cruciale, car le prix fera la différence. Les coûts de production ajoutés aux coûts du transport devront donc être suffisamment bas pour garder un avantage prix par rapport à la production décentralisée* ». <sup>24</sup>

La fiabilité des approvisionnements constituera un problème supplémentaire, selon Walt Patterson, analyste au Programme Energie et Environnement du Royal Institute of International Affairs de Londres : « Un des moteurs de la montée de l'intérêt pour la production locale de petite taille est l'inquiétude face à la fiabilité de la production traditionnelle centralisée à l'heure de la libéralisation ». <sup>25</sup> En réalité, la dérégulation pourrait aboutir à une poursuite de la baisse de la taille moyenne des nouvelles centrales électriques.

## 10 Problèmes systémiques : la taille compte...

Depuis les années soixante, la taille des centrales thermiques a énormément augmenté. En 1980, Ontario Hydro estimait à 1 000 MW la taille idéale d'une centrale (pour un ratio « dollars par MW installé »). Dix ans plus tard seulement, la compagnie canadienne estimait la taille idéale d'une centrale à 50 MW. Rien d'étonnant donc au fait qu'Ontario Hydro ait annoncé en octobre 1999 son intention de mettre en vente la totalité de ses 19 réacteurs nucléaires. Reste à savoir qui va les acheter et à quel prix ?

La tendance aux petites unités s'accélère. Sous le titre « Petite taille - Potentiel important », le magazine spécialisé *Modern Power Systems* indique que, selon le rapport d'un bureau d'étude sur l'avenir des petites installations de production d'électricité (de 1 kW à 5 MW), leur marché devrait augmenter de 32 % au cours des quatre prochaines années, et dépasser 16 milliards de dollars en 2003. <sup>26</sup>

Ainsi le concept de grands réseaux de distribution pourrait devenir obsolète. L'autoproduction sans couplage au réseau ou avec une distribution locale très limitée pourrait s'imposer dans les vingt ans à venir dans les pays industrialisés. Les avantages sont évidents. Investissements et frais de maintenance réduits pour le réseau, flexibilité de l'investissement élevée et réduction des pertes en lignes rendent une telle orientation très attrayante.

Les petits systèmes de distribution permettraient également d'éviter plus facilement le problème du vol. Aujourd'hui, des quantités importantes d'électricité ne sont jamais payées ou disparaissent par le biais de branchements illégaux, en particulier dans les pays en développement. Selon le magazine *Power Economics*, « *en Amérique Latine où environ un tiers de la population n'a pas accès au réseau, on estime que les compagnies de distribution perdent environ 40 % de leur électricité, à cause du vol, de la mauvaise maintenance et de l'inefficacité. On trouve également des pertes énormes dans les réseaux de distribution en Afrique, dans le Sud-Est asiatique, en ex-URSS et dans une grande partie d'Europe de l'Est* ». <sup>27</sup>

De plus, les coûts élevés de maintenance et de modernisation des systèmes de distribution encouragent la petite auto-production. On peut ainsi citer l'exemple de la police de Central Park, à New York, qui pour un million de dollars a installé une pile à combustible dans son quartier général, au lieu de dépenser 1,2 million pour la modernisation du réseau de distribution. Le 1<sup>er</sup> mai 1999, la police a été déconnectée du réseau. « C'est une bonne chose d'être autosuffisant » déclarait notamment un officier de police. <sup>28</sup> Les pays en développement ou en transition pourraient sauter l'étape des grands réseaux et passer directement aux petits systèmes autonomes.

<sup>24</sup> EDF, La Lettre d'Information du Parc Nucléaire, n°33, Janvier 1999

<sup>25</sup> Modern Power Systems, Août 1999

<sup>26</sup> voir James Varley, "Small scale, big potential", Modern Power Systems, Juin 1999.

<sup>27</sup> David Appleyard, "Power theft: an insidious menace", Power Economics, Juillet 1999.

<sup>28</sup> Modern Power Systems, Août 1999.

Le nucléaire, dans un tel contexte, n'a aucune chance. La situation se complique avec la nécessité de maintenir ou de créer un niveau d'expertise élevé et une importante main d'œuvre hautement qualifiée, auprès des réacteurs et chez les exploitants. La tendance est à l'inverse. L'ingénierie et la technologie nucléaires ne sont plus des disciplines qui attirent, même dans la plupart des pays nucléarisés : le nombre d'étudiants chute alors que la moyenne d'âge dans l'industrie nucléaire augmente. Aux États-Unis, le nombre de réacteurs universitaires est passé de 70 à moins de 30 depuis 1980. En France, le constructeur nucléaire Framatome affiche un objectif de plus de 50 % de son activité pour les secteurs non-nucléaires en 2000. Dans ces conditions, il est tout simplement impossible que les constructeurs nucléaires puissent s'embarquer à court terme dans un programme massif de redéploiement du nucléaire comme l'envisage l'AEN dans deux des scénarios présentés ci-dessus.

## 11 Les problèmes politiques : le facteur « risque »

Au final, c'est la politique qui crée la dynamique du secteur énergétique. En dehors de l'impact négatif sur le nucléaire de la dérégulation ou d'autres développements systémiques ou techniques, plusieurs pays nucléarisés ont défini ou même mis en place des politiques actives de sortie du nucléaire. Sur les 18 pays européens de l'OCDE :

- 7 n'ont jamais fait de nucléaire (Danemark, Grèce, Islande, Irlande, Luxembourg, Norvège et Portugal) ;
- 1 a arrêté le nucléaire (Italie) ;
- 1 n'a pas mis en service un réacteur dont la construction était achevée, suite à un référendum (Autriche) ;
- 9 ont des réacteurs nucléaires en service, dont :
  - aucun ne prévoit actuellement d'investissement supplémentaire ;
  - 3 ont défini des politiques actives de sortie du nucléaire (Belgique, Allemagne, Suède) ;
  - 1 a fixé une date définitive d'arrêt des réacteurs (Pays-Bas).

La principale raison de ces initiatives d'arrêt du nucléaire est la pression sociale et politique. Les populations considèrent que le nucléaire est dangereux et inutile du point de vue énergétique. La faillite du nucléaire dans l'art de convaincre les milieux économiques a aidé les politiques à agir. L'acceptation du public s'affaiblit continuellement depuis le début des années quatre-vingt-dix. Il faut noter que pendant que l'industrie nucléaire occidentale tentait de faire passer l'accident de Tchernobyl comme « quelque chose d'impossible ici », il y a eu récemment des accidents graves, même dans les pays industrialisés avancés.

En particulier, le manque de « culture de sûreté » dans un pays très nucléarisé comme le Japon a choqué de nombreuses personnes, dans ce pays comme à l'étranger. Les installations japonaises ont subi au moins trois accidents graves au cours des cinq dernières années :

- En décembre 1995 une fuite de sodium sur le surgénérateur de Monju a provoqué une situation qui aurait pu menacer l'intégrité du cœur du réacteur. Par la suite, les tentatives de l'exploitant, PNC, de masquer l'ampleur de l'accident ont provoqué sa dissolution. Le réacteur est toujours à l'arrêt ;
- En mars 1997, un feu suivi d'une explosion à l'installation de bitumage des déchets de l'usine de retraitement de Tokaimura, a entraîné un relargage de radioactivité, au-delà des limites du site ;
- En septembre 1999, une faute de manipulation dans une usine de conversion d'uranium sur le site de Tokai a été à l'origine du plus grave accident nucléaire depuis Tchernobyl. Une réaction en chaîne incontrôlée s'est poursuivie pendant plus de 18 heures dans un simple réservoir de précipitation, comme si un réacteur nucléaire fonctionnait dans une pièce normale. Deux des employés sont décédés des suites de cet accident. La population dans le voisinage immédiat a été exposée à une « douche » de neutrons pendant 18 heures. Plus de 400 personnes ont été exposées, et un riverain a reçu plus de 20 fois la dose limite annuelle.

L'accident de septembre 1999 a créé un climat politique défavorable à la promotion du nucléaire et a sans aucun doute joué un rôle dans la décision d'annuler la réalisation de la centrale d'Ashihama, en projet depuis plus de 37 ans. A l'extérieur du Japon, les répercussions ont également été importantes. Si un tel accident peut arriver dans le pays du high-tech par excellence, il semble bien que « cela puisse arriver ici ».

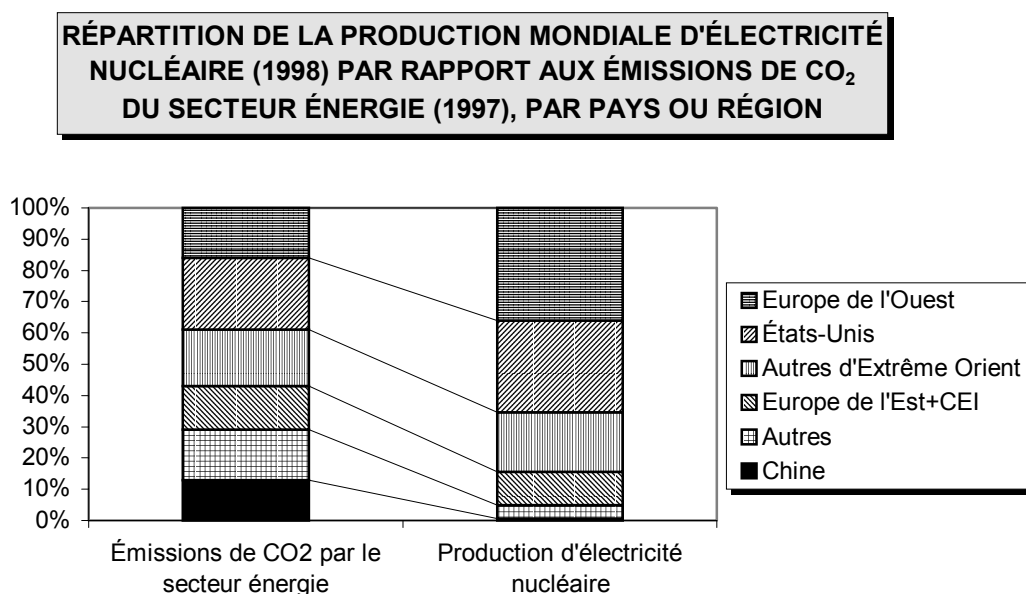
## 12 Nucléaire et effet de serre ?

Vu le nombre important d'effets systémiques indirects, il est intéressant d'évaluer les émissions globales de CO<sub>2</sub> du secteur énergétique des pays nucléarisés. (Voir figure 7). Les plus gros producteurs nucléaires sont également ceux dont les secteurs énergétiques engendrent les émissions les plus élevées de CO<sub>2</sub>. L'Europe Occidentale et les États-Unis produisent environ les deux tiers de l'électricité nucléaire mondiale, et leur secteur énergétique produit 39 % des émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie.<sup>29</sup>

La même observation s'applique aux émissions globales de pays ou de régions. On note en effet une corrélation intéressante entre la production nucléaire et les émissions de CO<sub>2</sub>. (Voir figure 8). À eux seuls, les États-Unis, qui représentent moins de 5 % de la population mondiale, « pèsent » plus de 25 % des émissions totales de CO<sub>2</sub> et produisent 29,4 % de l'électricité d'origine nucléaire. L'Europe Occidentale, avec moins de 6,5 % de la population mondiale représente environ 15 % des émissions de CO<sub>2</sub> et 34 % de la production d'électricité d'origine nucléaire. La Chine, enfin, constitue un bon contre-exemple : avec 21,5 % de la population mondiale, ce pays représente 13,5 % des émissions totales de CO<sub>2</sub> et produit 0,6 % de l'électricité nucléaire.

Cet exemple de la Chine illustre bien le rôle potentiel de l'efficacité énergétique dans la réduction des gaz à effet de serre. L'analyse de l'évolution entre 1980 et 1997 montre que la pénétration de combustibles non fossiles a permis de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> du pays d'à peine 10 millions de tonnes de carbone, alors que les mesures d'efficacité énergétique ont permis de réaliser une économie de plus de 430 millions de tonnes au cours de la même période.<sup>30</sup>

Figure 7 : Électricité nucléaire et émissions de CO<sub>2</sub> du secteur énergétique dans le monde

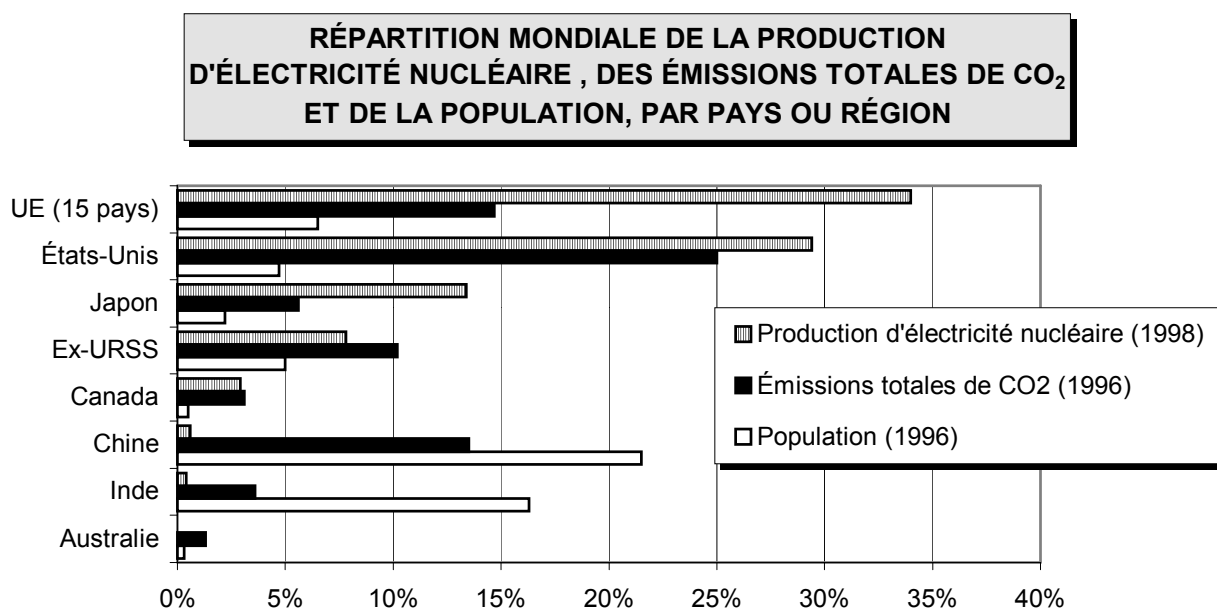


Source : UNDP 1999 ; IAEA 1999

<sup>29</sup> Suite à la publication du présent rapport en japonais en avril 2000, ce graphique a provoqué la colère des électriciens au Japon. Ceux-ci estimaient que la présentation en parallèle de la production nucléaire et des émissions de CO<sub>2</sub> n'avait pour effet que d'induire le lecteur en erreur. L'auteur souligne qu'il ne s'agit évidemment pas d'insinuer que c'est le nucléaire même qui produit les dites émissions de CO<sub>2</sub>. Ce rapport contient par ailleurs suffisamment d'informations et d'explications précises à cet égard. Toutefois, il serait fort intéressant de pousser l'analyse plus loin afin de tenter de comprendre si les divers phénomènes systémiques du nucléaire favorisent également les conditions nécessaires au développement d'une économie à fortes émissions de gaz à effet de serre. Cette analyse dépasserait de loin le cadre de ce rapport.

<sup>30</sup> Shong Xiang Zhang, op. cit.

Figure 8 : Électricité nucléaire, émissions totales de CO<sub>2</sub> et population



Source : UNDP 1999 ; IAEA 1999

Les projections pour l'Allemagne faites par Prognos, montrent qu'en parallèle d'une baisse de la production nucléaire qui devrait atteindre 40 % d'ici 2020, les émissions de CO<sub>2</sub> par kilowattheure devraient également diminuer de façon importante (de l'ordre de 20 % ou plus). Ceci non seulement en raison d'une part plus faible du charbon dans la structure de la production, mais surtout grâce à une baisse attendue de 22 % de l'intensité énergétique de l'économie allemande.<sup>31</sup>

Il semble assez évident que la relation entre un niveau élevé de production nucléaire et de faibles émissions de CO<sub>2</sub> n'est pas obligatoire. La France est jusqu'à présent la seule exception ; c'est également le pays qui possède la plus grande part de nucléaire au monde, après la Lituanie. La France exploite 59 réacteurs qui produisent 75 % de l'électricité, alors que le nucléaire ne représente que 55 % de la capacité installée. En parallèle, ses émissions de CO<sub>2</sub> se situent à un niveau relativement bas. Se pose donc à juste titre la question de savoir si une politique alliant le nucléaire et l'efficacité énergétique est une alternative possible sur le long terme, et si elle est rentable.

Une étude récente réalisée par le Commissariat Général du Plan, « Énergie 2010-2020 », qui a étudié trois scénarios différents (« société de marché », « État industriel », « État protecteur de l'environnement ») a abouti à des résultats intéressants :

- même dans le scénario « environnement », la consommation finale d'énergie en France augmenterait de 9 % d'ici 2020 (à comparer à une réduction de 5 % au moins projetée par Prognos pour l'Allemagne) ;
- le scénario présentant les plus faibles émissions de gaz à effet de serre n'est pas le plus nucléaire et « *il n'y a pas de corrélation évidente, même en France, entre les émissions et l'énergie nucléaire* », selon Benjamin Dessus, Président de l'atelier « Les défis du long terme » mis en place pour cette étude ;
- les réacteurs nucléaires ont presque tous disparus en 2020 dans le scénario « marché » si leur durée de vie n'est pas prolongée de 30 à 40 ans.

Il est certain que jusqu'à présent, le système français a montré un niveau d'émissions de CO<sub>2</sub> remarquablement faible. Outre le fait que la France doit faire face aux émissions radioactives les plus élevées des pays occidentaux, accumule d'énormes quantités de déchets radioactifs (y compris ceux correspondant aux exportations d'électricité) et est exposée quotidiennement au risque d'une catastrophe nucléaire, reste à savoir combien de temps le système peut durer : il se révèle en fait extrêmement fragile. En 1998, plusieurs réacteurs

<sup>31</sup> Konrad Eckerle, et al., "Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt", commandité par le Ministère des Affaires Economiques, Prognos AG, Basel, Octobre 1998

n'ont pas fonctionné comme prévu et la France a alors dû accroître de façon très importante (+ 36 %) son recours aux combustibles fossiles pour la production d'électricité. Les émissions de CO<sub>2</sub> du pays ont augmenté en parallèle d'environ 4 %.

La France a offert une certaine résistance à la dérégulation du marché de l'énergie européen. Elle a essayé de repousser le plus loin possible la date d'ouverture de son marché tout en poursuivant une politique musclée de prise de participation dans les compagnies d'électricité des pays voisins. En fait, la compagnie nationale EDF n'a aucune expérience de la concurrence. Elle se repose sur sa situation de monopole depuis 1946. Selon un document interne de stratégie fondamental, la compagnie française entend camper sur ses positions : les deux avantages majeurs restent son importante capacité de production et l'importance des besoins de chaleur du secteur résidentiel. Le chauffage électrique, absurde et coûteux, engendre un revenu d'environ 28 milliards de francs (environ 4,3 milliards de dollars US) et le secteur de l'eau chaude 10 milliards de francs supplémentaires (1,6 milliards de dollars US). Alors que de nombreuses compagnies dans le monde lancent des programmes d'efficacité de la consommation d'énergie, EDF considère que la consommation des appareils électroménagers (21 milliards de francs de chiffre d'affaires soit 3,4 milliards de dollars US) est « menacée » par l'amélioration de la performance des appareils. Afin d'encourager ses agents à promouvoir un produit qui a perdu toute crédibilité, même au sein d'EDF, la direction de l'établissement public tente, par le biais de la formation interne, de leur redonner confiance dans les « vertus » du chauffage électrique.

Une importante surcapacité de production dans les pays nucléarisés empêchera les compagnies d'électricité de faire des efforts dans le domaine de l'efficacité énergétique. L'objectif principal est de vendre du kilowattheure. Ceci est d'autant plus vrai dans les pays d'Europe de l'Est – Russie, Ukraine et Lituanie en particulier – qui ont connu une crise économique dévastatrice et une baisse de la consommation électrique pendant 10 ans. Aujourd'hui, la surcapacité dépasse de loin la capacité nucléaire installée de ces pays. Il y a une incitation incroyablement forte à essayer de vendre et à écouler, même à perte, une électricité nucléaire « bon marché » sur un marché européen de l'énergie dérégulé où chaque compagnie cherche le moyen de faire des économies.

L'autre problème est que les compagnies d'électricité ont par définition acquis un savoir faire et une expertise dans le domaine des grands systèmes de production et de distribution et n'ont que peu de connaissances en ce qui concerne les systèmes décentralisés ou l'efficacité au niveau de la consommation d'énergie. Ce n'est qu'à partir du moment où des mesures concrètes auront été prises en vue de l'arrêt du nucléaire (et autres grands systèmes de production) que des changements majeurs et des nouvelles initiatives pourront réellement se développer.

■