

# LA QUESTION DU NUCLEAIRE

## A LA LUMIERE DE L'EXPERIENCE FRANÇAISE

\*

Bernard LAPONCHE– Décembre 2009

\*

### Table des matières

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>2</b>
<b>1. NUCLEAIRE ET SECURITE ENERGETIQUE.....</b>	<b>2</b>
1.1 LE NUCLEAIRE ET LA DEPENDANCE PETROLIERE .....	2
1.2 LA CONTRIBUTION DU NUCLEAIRE A LA CONSOMMATION D'ENERGIE FINALE.....	2
1.3 LA QUESTION DU GAZ.....	3
1.4 LA QUESTION DE L'URANIUM.....	4
<b>2. NUCLEAIRE, ENVIRONNEMENT ET RISQUES.....</b>	<b>4</b>
2.1 NUCLEAIRE ET CLIMAT : LES EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE .....	4
2.2 POLLUTIONS ET RISQUES LIES A LA PRODUCTION D'ELECTRICITE D'ORIGINE NUCLEAIRE.....	5
<b>3. ELEMENTS SUR LA QUESTION ECONOMIQUE.....</b>	<b>8</b>
3.1 L'ENSEMBLE DES COUTS .....	8
3.2 IL N'Y A PAS DE "PRIX DE MARCHÉ" DU NUCLEAIRE.....	9
3.4 UNE COMPARAISON ENTRE NUCLEAIRE ET EFFICACITE ENERGETIQUE.....	10
<b>4. CONCLUSION.....</b>	<b>10</b>

### Résumé

Après une période de stagnation, la production d'électricité d'origine nucléaire connaît actuellement un regain d'intérêt au niveau de nombreux gouvernements qui mettent en avant les avantages de cette technologie en termes de sécurité énergétique et de lutte contre le changement climatique. Cela est particulièrement le cas en France qui a déjà développé le programme nucléaire le plus important au monde avec une part du nucléaire de 80% dans la production d'électricité

Cet article examine le programme nucléaire français tant du point de vue de la sécurité énergétique que de celui de l'environnement en mettant en regard les avantages apportés par le nucléaire et ses inconvénients, tant sur le plan de son aptitude à réduire la dépendance pétrolière que des risques et des pollutions qu'il entraîne. Cette analyse, complétée par un certain nombre d'éléments concernant les évaluations économiques, permet de porter un regard critique sur la « relance nucléaire » que certains cherchent à encourager.

## INTRODUCTION

Dans un monde aujourd'hui confronté à l'envolée des prix des produits énergétiques fossiles et aux risques d'un bouleversement climatique à court terme, la production d'électricité d'origine nucléaire connaît un regain d'intérêt, après une stagnation mondiale d'une vingtaine d'années. Le gouvernement français, fort d'une production d'électricité à 80% d'origine nucléaire se fait le champion du "nucléaire dans tous les pays. Les principaux arguments avancés en faveur du nucléaire sont la sécurité énergétique et la lutte contre le changement climatique.

Nous examinons dans ce papier ce que valent ces deux arguments, au regard des risques et des obstacles économiques en étudiant l'exemple français .

## 1. NUCLEAIRE ET SECURITE ENERGETIQUE

Pour la plupart des pays et en particulier la majorité des pays européens, la première menace sur la sécurité énergétique est la dépendance pétrolière en termes économiques (montée des prix), géopolitiques et de ressources au niveau mondial. Cela est vrai en particulier pour l'Italie où le pétrole représente 43% de la consommation d'énergie primaire, devant le gaz naturel (39%).

Avec 80% de production d'électricité d'origine nucléaire, la France occupe une position singulière dans le Monde<sup>1</sup>. Ce choix du "tout nucléaire" conduit à l'affirmation officielle que "le nucléaire assure l'indépendance énergétique de la France".

Qu'en est-il réellement?

### 1.1 Le nucléaire et la dépendance pétrolière

L'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins industrielles est limitée à la production d'électricité. La consommation de pétrole est, de façon croissante, consacrée essentiellement au secteur des transports. Autant dire que l'électricité et le pétrole ont peu de terrain commun, sauf dans les pays en développement les plus pauvres qui dépendent de produits pétroliers pour la production d'électricité et sont aujourd'hui les premières victimes de l'augmentation des prix du pétrole.

Le tableau 1 montre que la consommation de pétrole par habitant de la France est plus élevée que celle de ses grands voisins. L'énorme programme nucléaire ne diminue en rien la dépendance pétrolière de la France.

**Tableau 1 : La consommation de pétrole par habitant dans quatre pays européens en 2007**

Pays	France	Allemagne*	Italie	Royaume-Uni
Population (million)	60,8	82,4	58,7	60,2
tonne	<b>1,46</b>	<b>1,36*</b>	<b>1,31</b>	<b>1,33</b>

\* La consommation de pétrole de l'Allemagne a baissé de 10% entre 2006 et 2007.

Source : Enerdata<sup>2</sup>

Sachant que le secteur des transports dépend à 95% des produits pétroliers et que 60% des produits pétroliers sont consommés par les transports, le couple "transports - pétrole" doit être une cible privilégiée d'une politique d'efficacité énergétique : la sécurité énergétique est très étroitement liée à une profonde modification des systèmes de transport.

### 1.2 La contribution du nucléaire à la consommation d'énergie finale

Pour juger de l'importance de la contribution du nucléaire à la totalité de l'énergie consommée dans les activités économiques et sociales (industrie, transports, habitat, tertiaire, agriculture), il est intéressant

<sup>1</sup> Pour les dix pays dont la production d'électricité d'origine nucléaire représente 85% de la production mondiale, la part du nucléaire dans la production d'électricité était la suivante en 2005 : France (79%), Ukraine (49%), Suède (40%), Corée du Sud (38%), Japon (28%), Allemagne (26%), Royaume-Uni (20%), Etst-Unis (19%), Russie (16%), Canada (15%) – Source : AIE 2007.

<sup>2</sup> www.enerdata.fr

de regarder la décomposition de la consommation d'énergie finale entre les différents produits énergétiques, ce que montre le tableau 2 pour la France.

**Tableau 2 : Consommation d'énergie finale de la France\* (2007)**

Produits	Charbon	Produits pétroliers	Gaz	Electricité	Autres Renouvelables**	TOTAL
Mtep***	6,7	85,5	36,7	36,5	10,6	176
Part	3,8 %	48,6 %	20,8 %	20,7 %	6 %	100 %

\* Incluant les usages non énergétiques (15,3 Mtep de produits pétroliers et gaz naturel).

\*\* Biomasse, solaire thermique, déchets.

\*\*\* Mtep : million de tonne équivalent pétrole;

Source : Enerdata.

Les produits pétroliers représentent 49% de la consommation finale d'énergie dont ils constituent de loin le premier poste, devant le gaz et l'électricité.

La consommation finale d'électricité est de 424 TWh<sup>3</sup> dont 28 TWh sont importés, 50 TWh produits par des centrales électriques à combustible fossile, 60 TWh par des centrales hydrauliques (et un peu d'énergie éolienne) et 286 TWh par des centrales nucléaires. La contribution du nucléaire à la consommation finale d'électricité est donc de 67%. Comme la part de l'électricité dans la consommation d'énergie finale est de 20,7%, **la contribution du nucléaire à la consommation d'énergie finale de la France est de 13,9%**.

Il est donc difficile de prétendre que l'énergie nucléaire assure l'indépendance énergétique de la France.

### 1.3 La question du gaz

Si le nucléaire ne joue absolument pas vis-à-vis de la dépendance pétrolière, il peut par contre constituer un substitut au gaz naturel pour la production d'électricité.

**En France**, sur une consommation totale de gaz naturel de 38 Mtep en 2007, 5,4 Mtep sont utilisées pour la production d'électricité. Pour fournir la même quantité d'électricité au réseau que celle provenant des centrales nucléaires, soit 320 TWh, il faudrait consommer 47 Mtep de gaz naturel dans des centrales à cycle combiné, ou bien 34 Mtep de gaz naturel plus 7,5 Mtep d'énergies renouvelables non thermiques (hydraulique, éolien, photovoltaïque). La dans ces nouvelles conditions la quantité de gaz supplémentaire "remplaçant" le nucléaire représenterait alors entre 16% et 20% de la consommation d'énergie primaire totale.

Cela dit, la consommation d'électricité en France est particulièrement élevée du fait en particulier du développement du chauffage électrique. Le développement des économies d'électricité, l'utilisation croissante des énergies renouvelables thermiques pour le chauffage et l'eau chaude, l'utilisation croissante des techniques performantes au gaz (cogénération, trigénération) et l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité pourraient permettre de limiter le recours au gaz naturel pour la production d'électricité dans une telle occurrence de "remplacement" du nucléaire.

La question du gaz ne se pose d'ailleurs pas de la même façon que celle du pétrole. En effet, les ressources mondiales en gaz sont au moins aussi importantes que celles de pétrole et comme la consommation mondiale de gaz naturel est inférieure à celle du pétrole, la question des ressources est moins pressante. D'autre part, les sources d'approvisionnement pour l'Europe sont diversifiées : Norvège, Russie, Algérie mais aussi Libye et les pays du Golfe. Enfin n'oublions pas la montée en puissance des énergies renouvelables qui permettra d'importantes substitutions au gaz naturel par le développement de l'architecture bioclimatique, la production d'eau chaude et de chauffage par le solaire thermique et surtout par la production d'électricité par l'éolien, notamment off-shore, et le photovoltaïque.

<sup>3</sup> TWh : TeraWatheure ou milliard de kWh (kilowatheure).

## 1.4 La question de l'uranium

Dans les statistiques énergétiques, l'électricité d'origine nucléaire est considérée comme une "électricité primaire", produite intégralement sur le territoire national (au même titre que l'électricité hydraulique par exemple) et sa production est de ce fait considérée comme "nationale".

En fait une centrale nucléaire est une centrale thermique particulière dans laquelle la chaleur est produite par les fissions à l'intérieur du réacteur nucléaire et la source d'énergie est l'uranium utilisé comme combustible (uranium légèrement "enrichi" en Uranium 235 à partir de l'uranium naturel).

***La source primaire d'énergie est donc l'uranium naturel et celui-ci est entièrement importé.***

Il est donc anormal de considérer le nucléaire comme une énergie "nationale". Et, même si des stocks importants d'uranium peuvent être constitués, la garantie d'approvisionnement sur les quatre ou cinq décennies de durée de vie d'une centrale nucléaire qui serait construite dans la prochaine décennie est loin d'être assurée, ne serait-ce que par l'épuisement des ressources en uranium naturel accessibles à des prix compétitifs. D'autre part, une relance du nucléaire causerait une tension sur les prix de l'uranium qui aggraverait le coût économique de la filière.

## 2. NUCLEAIRE, ENVIRONNEMENT ET RISQUES

Examinons maintenant la question du nucléaire et de l'environnement en ayant conscience que si la menace de changement climatique est aujourd'hui considérée comme la question environnementale majeure au niveau mondial, elle ne saurait constituer le seul critère d'appréciation des qualités et des défauts des différentes politiques énergétiques possibles. Les pollutions locales, les risques d'accidents et les déchets doivent être également pris en compte.

### 2.1 Nucléaire et climat : les émissions de gaz à effet de serre

En termes d'émissions de gaz carbonique CO<sub>2</sub>, la production d'électricité d'origine nucléaire présente un avantage net par rapport à la production d'origine fossile. Il faut toutefois prendre en compte les émissions de l'ensemble du système nucléaire, y compris les industries du combustible (extraction et transformation du minerai, transports, traitement et fabrication du combustible, traitement et transport des déchets, démantèlement des installations...).

Les émissions de CO<sub>2</sub> sont estimées à 20 à 90 grammes de CO<sub>2</sub> par kWh en fonction de la prise en compte ou non de l'ensemble du système nucléaire. Elles sont donc supérieures à celles des énergies renouvelables. Pour ce qui concerne la production d'électricité d'origine fossile, les émissions varient de 840 grammes de CO<sub>2</sub> par kWh pour une centrale à charbon moderne (rendement de 42%) à 370 grammes par kWh pour une centrale à cycle combiné au gaz naturel (rendement de 58%).

Si la séquestration du CO<sub>2</sub> devient une technique faisable et économiquement acceptable, alors ces niveaux seraient nettement inférieurs.

***Les émissions de gaz à effet de serre de la France*** ont été en 2005 de 553 Mteq CO<sub>2</sub><sup>4</sup>, dont 378 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> (Mt CO<sub>2</sub>).

Pour évaluer la contribution du nucléaire à la réduction des émissions, nous comparons les émissions de CO<sub>2</sub> du système nucléaire actuel aux émissions produites par des centrales à cycle combiné au gaz naturel qui assureraient la même quantité d'électricité au consommateur final. Selon le niveau d'émission par kWh attribué au nucléaire, la différence entre les émissions de ces deux systèmes représente entre 80 et 100 Mteq CO<sub>2</sub>, soit 15% à 20% des émissions totales de gaz à effet de serre de la France. C'est loin d'être négligeable, mais il reste 80 à 85%. De plus, cette estimation est une valeur maximale car la France est amenée (notamment du fait du chauffage électrique) à importer de l'électricité d'origine fossile dont les émissions de CO<sub>2</sub> à la production devraient en toute logique lui être attribuées.

Si la production d'origine nucléaire est remplacée par une production d'origine renouvelable, la gain en réduction des émissions de CO<sub>2</sub> est comparable et même supérieur (dans le cas de l'éolien par exemple).

---

<sup>4</sup> La "tonne équivalent CO<sub>2</sub>" ou teq CO<sub>2</sub> est une unité conventionnelle commune pour les émissions des différents gaz à effet de serre.

La comparaison internationale présentée dans le tableau 5 montre bien que l'avantage de la France en termes d'émissions de gaz à effet de serre du fait de son programme nucléaire, même s'il est réel, n'est pas aussi important que le prétendent les promoteurs du nucléaire.

**Tableau 5 : Emissions de gaz à effet de serre (GES) de quatre pays européens (2005)**

	France	Allemagne	Italie	Roy.-Uni
<b>Emission GES totale (Mteq CO2)</b>	553	1001	582	657
<b>Population (million)</b>	60,8	82,4	58,8	60,2
<b>Emission GES par habitant (teq CO2)</b>	9,1	12,1	9,9	10,9
<b>Ecart avec France (%)</b>	0%	+ 33% <sup>5</sup>	+ 9%	+ 20%

Source : Agence Européenne de l'Environnement.

**Remarque :**

En plus du « tout nucléaire », une autre spécialité française est le « tout électrique » qui a conduit depuis trente ans à une politique de développement du chauffage électrique extrêmement agressive menée par EdF et soutenue par les gouvernements. Outre que le chauffage électrique est une aberration énergétique (on produit de la chaleur qui produit de l'électricité avec un faible rendement et l'on utilise cette électricité pour produire de la chaleur à très basse température), celui-ci a la particularité d'être nécessaire en période de froid. Comme l'électricité ne se stocke pas, il faut avoir une puissance de production capable de fournir en période de pointe annuelle et journalière), ce dont le nucléaire est incapable (le nucléaire n'est pas ou très peu modulable pour des raisons techniques et n'est économiquement intéressant qu'en fonctionnement en base).

Le chauffage électrique impose donc à la France d'importer de l'électricité en pointe qui est particulièrement chère et surtout produite par des centrales à combustible fossile (notamment charbon des centrales allemandes). Cela crée en période de grand froid des risques de coupure (le chauffage électrique double la pointe de puissance maximale en France) et, durant la saison de chauffe, une consommation d'électricité à partir de centrales fortes émettrices de CO2. Ces émissions, puisque l'électricité est importée, ne sont pas imputées à la France, mais elle en a la responsabilité et le « contenu en CO2 » du kWh électrique du chauffage est loin d'être nul (et même supérieur à celui du kWh gaz).

**2.2 Pollutions et risques liés à la production d'électricité d'origine nucléaire**

La production d'électricité d'origine nucléaire – tout au moins avec les techniques actuelles – est entachée de trois inconvénients majeurs : le risque d'accident grave, la gestion des déchets radioactifs et le risque de prolifération des armes nucléaires. Cela est particulièrement vrai pour le réacteur EPR, dernier modèle du programme nucléaire français.

***Le risque d'accident majeur***

Le risque d'accident majeur entraînant des conséquences graves pour le personnel, la population avoisinante (ou au-delà) ou l'environnement des réacteurs nucléaires et des usines du combustible nucléaire peut être considéré comme de faible probabilité du fait des précautions prises dans les pays qui ont jusqu'ici développé les centrales nucléaires mais il est loin d'être nul et les conséquences de tels accidents peuvent être dévastatrices, comme l'a montré l'accident de Tchernobyl en avril 1986.

Pour les réacteurs nucléaires, le risque majeur est une séquence accidentelle pouvant déboucher sur un emballement incontrôlable des réactions de fission, puis une fusion du combustible au cœur du réacteur. Ce risque a été illustré en particulier par l'accident, sur un réacteur PWR<sup>6</sup> de la filière la plus répandue dans le monde, survenu en mars 1979 dans la centrale nucléaire de Three Mile Island aux Etats-Unis. Le réacteur nucléaire a été entièrement détruit, le président des États-Unis a dû faire évacuer la zone,

<sup>5</sup> L'importance de l'écart avec l'Allemagne est due à la forte proportion de production d'électricité à partir du charbon dans ce pays.

<sup>6</sup> PWR : réacteur dit "à eau pressurisée" qui équipent la majorité des centrales nucléaires dans le monde.

heureusement (et surtout par chance) la situation s'est stabilisée et il n'y a pas eu d'échappement de matières radioactives à l'extérieur de la centrale et par conséquent pas de victimes humaines. Ce ne fut pas le cas pour l'accident de Tchernobyl dont on connaît les conséquences désastreuses.

Il peut exister plusieurs causes initiatrices de l'accident grave, de natures différentes, et le risque majeur est en grande partie lié aux possibilités de combinaison de ces différentes causes dans une dynamique fatale : défaillance matérielle, défaillance humaine, agressions externes accidentelles, actes de malveillance.

L'accident de Tchernobyl en 1986 a montré la réalité et la taille d'un accident nucléaire majeur. La question n'est pas qu'un accident identique à celui de Tchernobyl soit possible mais qu'un accident dont les conséquences seraient du même ordre soit possible avec les réacteurs "occidentaux" actuelles. La probabilité d'un tel accident est heureusement très faible, mais personne ne peut affirmer qu'il est impossible, surtout si l'on tient compte des possibilités d'agressions externes. Des accidents se sont déjà produits en France qui peuvent être considérés comme « précurseurs » d'accidents très graves (par exemple à la Centrale du Blayais lors de la tempête de décembre 1999).

L'acceptabilité d'un tel risque ne doit pas relever des experts ni, encore moins, des promoteurs du nucléaire. C'est une question dont la réponse revient aux citoyens, par un processus démocratique.

Notons enfin que, très récemment, les trois Autorités de sûreté nucléaire de la France, la Finlande et le Royaume-Uni ont mis en question la fiabilité du contrôle-commande du réacteur EPR, actuellement en construction en Finlande et en France, ce qui est extrêmement inquiétant.

### ***Les déchets radioactifs***

Deux modes de traitement sont actuellement en vigueur pour la gestion des combustibles irradiés issus des réacteurs nucléaires. La majeure partie des pays stockent les combustibles irradiés en l'état. Si cette solution est sans doute la plus simple et la moins chère à court et moyen terme, elle n'est évidemment pas satisfaisante pour le long terme. Elle offre cependant l'avantage de ne pas présenter les risques nombreux que présente la solution du retraitement des combustibles.

La solution du retraitement des combustibles irradiés est surtout développée et soutenue par la France<sup>7</sup> avec le double objectif de production de plutonium et de traitement des déchets. Le retraitement lui-même est une opération chimique complexe en milieu très radioactif et l'usine de retraitement est à haut risque en termes d'accidents ou d'agressions potentielles. D'autre part, cette opération émet des rejets gazeux et liquides dangereux pour la santé comme pour l'environnement (pollution de l'Atlantique Nord). De même, les transports de combustibles irradiés comme des déchets radioactifs et du plutonium sont également des opérations à haut risque. Enfin, le retraitement multiplie les déchets radioactifs de natures diverses, à radioactivité faible mais suffisamment dangereuse pour que l'on se pose la question de leur stockage définitif.

Dans la mesure où tous les combustibles irradiés ne sont pas retraités, en particulier les combustibles mixtes uranium - plutonium (MOX), on doit alors prévoir à la fois des stockages pour les combustibles irradiés non retraités et pour les différentes catégories de déchets issus du retraitement.

A la fin du fonctionnement des centrales nucléaires, une nouvelle quantité considérable de matériaux radioactifs sera également à gérer : ce sont tous les déchets produits par le "démantèlement" des centrales nucléaires. En effet, les centrales nucléaires arrêtées restent des sites à risque radioactif qu'il faut démonter, détruire et dont il faut évacuer et stocker les "débris".

Pour ce qui concerne la gestion des déchets radioactifs les plus dangereux (par le niveau de leur radioactivité et, ou par leur durée de vie), la solution officielle proposée en France est l'enfouissement en couches géologiques profondes. Au-delà de la discussion sur la fiabilité technique et de la robustesse à très long terme de cette technique, une telle décision pose un problème éthique majeur : a-t-on le droit d'enfouir ces matières extrêmement dangereuses pendant des millénaires ? Qui nous garantit de l'état de notre pays dans mille ou deux mille ans ? Ne restera-t-il de cette opération dans la mémoire collective que l'idée qu'il y a en ce lieu quelque chose de très précieux qui a été enfoui et qu'il y a très longtemps et qu'il faudrait creuser pour le récupérer ?

---

<sup>7</sup> Le retraitement des combustibles irradiés est également pratiqué au Royaume-Uni. La technique du retraitement a été développée initialement pour la production de plutonium à des fins militaires.

La solution du retraitement et de l'enfouissement des déchets serait d'autant plus dangereuse qu'elle serait proposée comme une solution "universelle" : allons-nous parsemer la croûte terrestre de ces réserves de poison?

### ***La prolifération***

L'utilisation des matières et des techniques nucléaires à des fins d'agression militaire ou terroriste pose un problème majeur au niveau mondial.

Si l'origine des réacteurs actuels utilisés pour équiper les centrales productrices d'électricité est bien de nature militaire<sup>8</sup>, on peut considérer que dans la plupart des pays, les programmes civils de construction des centrales n'ont pas de lien direct avec les questions militaires. Il en va tout autrement pour le combustible nucléaire.

La première question porte sur le développement du nucléaire civil au niveau d'un Etat. Le grand argument utilisé par les promoteurs du nucléaire est "l'indépendance nationale". Si l'on fait même abstraction de la façon dont le pays concerné se procure l'uranium naturel (entièrement importé de l'extérieur pour les pays européens), cette indépendance exige que le pays concerné maîtrise les technologies de fabrication du combustible et par conséquent la technique de l'enrichissement de l'uranium. La technique la plus utilisée actuellement est la diffusion gazeuse qui nécessite de grandes installations et de fortes consommations d'électricité, la technique la plus simple est l'ultracentrifugation qui permet d'atteindre relativement facilement des taux d'enrichissement très élevés. Si le pays s'engage dans le retraitement des combustibles irradiés, toujours à des fins "civiles", il pourra produire du plutonium.

L'enrichissement permet de produire de l'uranium très enrichi en uranium 235 et le retraitement permet de produire du plutonium 239 presque pur : la maîtrise de ces deux techniques ou de l'une d'entre elles permet au pays, lorsqu'il le décidera, de passer rapidement à la fabrication de "bombes atomiques".

L'agression terroriste utilisant des matériaux nucléaires ou simplement des déchets radioactifs nécessite de se procurer ces matières par vol ou "détournement". On comprend que si des quantités considérables de déchets radioactifs ou de plutonium étaient transportées à travers toute la planète, une telle opération deviendrait de plus en plus aisée.

Outre les difficultés technologiques, la nécessité d'un très haut niveau d'expertise dans la conduite, la maintenance et la sûreté des réacteurs et des usines, la propagation inconsidérée des technologies nucléaires par leurs promoteurs risque d'accroître de façon considérable le risque de conflit ou d'agression nucléaire.

### ***Une question importante pour beaucoup de pays : l'eau de refroidissement des centrales nucléaires***

Dans une centrale nucléaire la chaleur produite dans le réacteur est récupérée par un circuit primaire d'eau sous pression<sup>9</sup> et transmise à un circuit secondaire d'eau également au travers d'un échangeur : cette eau est ainsi vaporisée dans l'échangeur (appelé de ce fait "générateur de vapeur"). C'est cette vapeur qui va actionner la turbine qui actionne le générateur d'électricité. La vapeur d'eau doit être refroidie dans un "condenseur" après son passage dans la turbine. Du fait du rendement du cycle de Carnot, environ les 2/3 de la chaleur produite dans le réacteur sont transmis à l'eau de refroidissement qui circule dans le condenseur, tandis que 1/3 est transformé en énergie électrique. L'eau de refroidissement du condenseur, prélevée dans un cours d'eau ou dans la mer, est rejetée à une température supérieure à son admission.

Le choix des sites pour implanter une centrale nucléaire ainsi que la puissance de celle-ci peuvent des répercussions importantes sur la température de l'eau et sur la quantité qui est utilisée. Si le refroidissement se fait directement par la circulation de l'eau (canal dérivé de la rivière ou de la mer), l'exemple des centrales françaises montre qu'une centrale de 2500 MWe réchauffe de 10 degrés un débit de 125 mètres cubes par seconde. Si un tel réchauffement peut être acceptable pour un site en bord de mer, il ne l'est pas si le refroidissement est effectué par l'eau d'une rivière ou d'un fleuve<sup>10</sup>. Dans ce cas on a recours à des réfrigérants atmosphériques qui dissipent la chaleur en vaporisant de l'eau. Ce sont des cheminées d'une hauteur de 100 à 150 m et d'un diamètre du même ordre de

---

<sup>8</sup> Les réacteurs PWR ont été développés dans les années 50 pour équiper les sous-marins nucléaires.

<sup>9</sup> Dans les réacteurs PWR. Tous les réacteurs des centrales nucléaires françaises sont de ce type.

<sup>10</sup> Les fleuves européens ont des débits relativement faibles (200 m3 par seconde pour la Seine à Paris).

grandeur. Le réfrigérant atmosphérique consomme de l'eau par évaporation et de l'ordre de 1m<sup>3</sup> par seconde est évaporé pour une centrale de 1000 MWe.

En conclusion de ce chapitre sur "Nucléaire et environnement", nous citerons la position du gouvernement allemand exprimée dans le document "*Taking action against global warming, an overview of German climate policy*" de septembre 2007:

*"Nuclear power is intentionally excluded from the German government's climate protection concept. For the dangers of nuclear power are well-known. Terrorist attacks on nuclear power plants can have devastating consequences, the disposal of highly-toxic nuclear waste is still a global problem, and the military use of plutonium gives rise to international security issues".*

### **3. ELEMENTS SUR LA QUESTION ECONOMIQUE**

#### **3.1 L'ensemble des coûts**

L'estimation économique de la production d'électricité d'origine nucléaire, passée ou future, doit prendre en compte l'ensemble des coûts sur une longue période de temps, ce qui est une caractéristique particulière de cette technologie, liée à la question de la gestion à long terme des déchets radioactifs. Il est très important de pouvoir estimer non seulement les coûts d'investissement mais aussi les coûts de fonctionnement sur la durée de vie de la centrale et bien au-delà.

Dans le cas de la France, une étude réalisée en 1999 pour le Premier ministre<sup>11</sup> a montré que, sur la durée de vie du programme français de centrales nucléaires (jusqu'à 2000), le coût d'investissement représente 25% du coût total, le coût d'opération et de maintenance représente 43% et le coût du combustible 32% (20% pour le combustible avant réacteur et 12% pour le combustible après réacteur), avec de grandes incertitudes sur le coût réel du combustible après réacteur.

#### ***Les coûts d'investissement***

- La centrale nucléaire elle-même et en particulier le réacteur nucléaire, en fonction du choix d'une industrialisation autonome ou de l'importation de la technologie.
- Les industries du combustible nucléaire, avec la même alternative (enrichissement de l'uranium, fabrication des combustibles).
- La gestion et le stockage des combustibles irradiés et, ou des déchets issus du retraitement. Nécessité dans tous les cas de capacités de stockage.
- Les équipements de Recherche et Développement.
- Un investissement souvent oublié : celui des lignes à très haute tension pour le transport de l'électricité à partir des centrales nucléaires de très grande puissance (de 1000 à 1500 MWe par unité; en général une centrale comprend deux unités sur un même site).

Dans le cas du choix d'un développement autonome, les investissements sont très élevés. Dans le cas où l'essentiel de la technologie nucléaire est importée, le développement dépend d'une technologie et de prix fixés par le vendeur, sans bénéfice pour l'industrie et l'emploi locaux.

#### ***Les coûts de fonctionnement***

- Combustible nucléaire (uranium naturel, uranium enrichi, éléments combustibles).
- Opération<sup>12</sup> et maintenance (remplacement des pièces) de la centrale nucléaire;
- Gestion des combustibles irradiés et des déchets radioactifs.
- Déclassement et démantèlement des centrales nucléaires et des usines du combustible nucléaire.
- Coûts de fonctionnement de la Recherche et Développement.
- Suivi et contrôle de la sûreté nucléaire des centrales et des usines nucléaires (un très gros travail technique et administratif qui revient à la charge de l'Etat).

---

<sup>11</sup> Etude commandée par Lionel Jospin et réalisée par J.-M. Charpin, Directeur du Commissariat au Plan, B. Dessus, Directeur au CNRS, R. Pellat, Haut Commissaire à l'Energie Atomique, sur "L'évaluation économique de la filière nucléaire".

<sup>12</sup> L'effectif du personnel de conduite (500 agents pour une unité de 1500 MWe) est très supérieur à celui d'une centrale classique.



Si le coût d'une centrale nucléaire est connu lorsque elle est construite ou achetée, le coût du combustible nucléaire peut varier de façon importante en fonction du prix de l'uranium pendant les quarante ou cinquante ans de la vie technique de la centrale. Il est certain qu'une relance du nucléaire au niveau mondial conduirait à une augmentation considérable du coût de l'uranium du fait de la limitation de ses ressources. D'autre part, le coût à moyen et long terme de la gestion et du stockage des déchets reste très mal connu ainsi et surtout que celui du démantèlement des centrales dont les estimations basées sur quelques premières expériences ne font qu'augmenter.

### 3.2 Il n'y a pas de "prix de marché" du nucléaire

Historiquement, dans la plupart des pays qui ont développé le nucléaire, cela s'est fait dans le cadre d'une politique de l'Etat, le plus souvent en lien avec des programmes militaires qui ont d'ailleurs dicté les choix de type de réacteurs et de combustible. Une partie des coûts a été prise en charge par l'Etat.

Plus récemment, du fait du très faible développement de la production d'électricité d'origine nucléaire dans le monde et en particulier dans les pays de l'OCDE depuis une vingtaine d'années, il n'existe pas de "prix de marché" pour les centrales nucléaires qui puisse être comparé au prix de marché des techniques largement développées comme les centrales à charbon, au gaz, hydrauliques et même éoliennes.

Le tableau 6 présente l'augmentation des capacités installées de production d'électricité pour les différentes filières sur la période 2003-2006.

**Tableau 6 : Augmentation des capacités installées des centrales électriques entre 2003 et 2006**

Filière	Gaz	Charbon	Hydraulique	Eolien	Nucléaire	Biomasse	Pétrole	TOTAL
1000 MWe	203	182	71	34	10	8	-51	450
Part	45%	40%	16%	7%	2%	2%	- 12%	100%

Source : Enerdata.

### 3.3 Les coûts d'investissement des centrales EPR

Avec une commande passée en Finlande et une en France, l'EPR (European Pressurized water Reactor), un réacteur de 1600 MWe basé sur un concept français et allemand et vendu par AREVA, est le premier réacteur dont la construction a été amorcée en Europe occidentale depuis dix-sept ans (vingt-huit ans hors de France) et le premier de son espèce à être construit dans le monde.

Du côté finlandais, la compagnie d'électricité TVO avait annoncé, pendant la phase de demande d'autorisation, un coût de 2,5 milliards d'euros pour cette nouvelle centrale (Olkiluoto 3) et une durée de construction de quatre ans. Avec le choix de l'EPR, le prix (fixe) est monté à 3,2 milliards d'Euros. A la mi-2008, deux ans et demie après le début des travaux, le total des coûts d'investissement est estimé à 5 milliards d'euros et la durée de construction à sept ans.

Du côté français, les premières estimations fournies en 2003 au gouvernement par son administration étaient un coût de l'ordre de 2 milliards d'euros d'investissement et 28,4 euros par MWh<sup>13</sup>. Très vite d'ailleurs ces estimations « officielles » se sont interrompues au nom du « secret commercial ». De façon plus réaliste, EDF prévoyait que le coût de production de son nouveau réacteur serait de 43 puis 46 euros 2004 par MWh, sur la base d'un coût d'investissement de 3,4 milliards d'euros (estimation de juillet 2008). En décembre 2008, EDF a révisé ses estimations et annoncé un coût du MWh de 55 euros, sur la base d'un coût d'investissement de 4 milliards d'euros.

De son côté, la compagnie allemande E.ON estime un investissement de 5 à 6 milliards d'euros pour un EPR<sup>14</sup>.

Ainsi la compétitivité du nucléaire est de moins en moins perceptible par comparaison aux centrales à gaz ou au charbon. Et ceci avec la plus grande incertitude sur les coûts futurs du démantèlement, de la gestion des déchets et de l'uranium.

<sup>13</sup> 1 MWh (megaWatheure) vaut 1000 kWh (kiloWatheure).

<sup>14</sup> Journal « Les Echos » du 3 décembre 2008.

### 3.4 Une comparaison entre nucléaire et efficacité énergétique

Sur la période 1973-1986, la France a connu deux efforts parallèles : d'une part sur les économies d'énergie au niveau de la consommation et, d'autre part, sur le développement massif de la production d'électricité nucléaire. Il est intéressant de comparer les effets en termes énergétiques et les coûts d'un grand programme sur "l'offre", le programme électronucléaire et d'un effort soutenu d'investissement dans le domaine des économies d'énergie.

Cette comparaison a été effectuée dans la note du 16 septembre 1987 de la Direction générale de l'Energie et des Matières Premières (DGEMP) qui souligne l'intérêt économique des économies d'énergie réalisées entre 1973 et 1987. Nous en reproduisons ici la première page :

*"Les résultats acquis depuis le premier choc pétrolier en 1973 témoignent de l'intérêt considérable des économies d'énergie, tant pour ce qui concerne leur impact sur l'indépendance énergétique de la France que celui sur le commerce extérieur.*

*Quelques chiffres permettent d'illustrer cette efficacité :*

*- On estime à environ 34 Mtep/an l'importance de l'économie annuelle réalisée depuis 1973 par rapport à la situation qui aurait résulté d'une consommation alignée sur la croissance économique.*

*Ce résultat est à rapprocher des 56 Mtep produites par an après la mise en œuvre du programme nucléaire et montre l'importance prise par les économies d'énergie dans la politique énergétique nationale.*

*- Cette économie de 34 Mtep/an a nécessité la réalisation de 100 milliards de francs d'investissements. La comparaison de cet effort avec les 500 milliards de francs dépensés pour produire les 56 Mtep annuelles du nucléaire met en évidence l'intérêt des économies d'énergie pour la collectivité nationale."*

Les économies d'énergie, essentiellement de pétrole, réalisées annuellement en fin de période du fait des investissements réalisés durant la période sont exprimées en énergie primaire : les 34 Mtep par an d'économies correspondent à environ 28 Mtep d'économies en énergie finale. La production du programme nucléaire est également exprimée en énergie primaire et les 57 Mtep de production en énergie primaire correspondent à 19 Mtep en énergie finale. L'investissement pour 1 Mtep finale d'économie d'énergie est donc de 3,5 milliards de Francs, à comparer à 26 milliards de Francs pour l'investissement nucléaire pour une production de 1 Mtep d'énergie finale. Le rapport des deux investissements est de 7,4, en faveur des économies d'énergie.

## 4. CONCLUSION

En regard de ses ambitions initiales et des efforts considérables en termes techniques et économiques qu'il a nécessité, le bilan de l'énorme programme nucléaire français développé entre 1975 et 2000 est particulièrement décevant. La proclamation toujours présente de "l'indépendance énergétique de la France" ne résiste pas à l'examen puisque la consommation de pétrole par habitant de la France est en 2007 supérieure à celle de ses grands voisins, que la contribution du nucléaire à la consommation finale n'y est que de 14%, tandis que les produits pétroliers en représentent 49%.

Certes l'apport du nucléaire permet une moindre dépendance par rapport au gaz ou au charbon, mais la dépendance pétrolière est de loin le facteur le plus contraignant pour la sécurité énergétique. De plus, avec une production d'électricité à 80% d'origine nucléaire et basée sur une seule technique, les réacteurs PWR, le système électrique français s'est créé une nouvelle vulnérabilité.

En termes économiques globaux, le "tout électrique – tout nucléaire" qui a été la base de la politique énergétique française des trois dernières décennies et qui continue de l'être contre toute rationalité économique et énergétique avec le programme de construction du réacteur EPR n'a pas apporté un avantage particulier à la France, par rapport à l'Allemagne par exemple. La monoculture nucléaire a entraîné au contraire un retard considérable sur le développement des énergies renouvelables et freiné les efforts d'économies d'énergie, notamment sur l'électricité.

Si l'on examine les questions environnementales, il est exact que la production d'électricité d'origine nucléaire contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. mais même dans le cas extrême de la France, cette réduction peut être estimée à 15 à 20% maximum des émissions totales, ce qui n'est pas négligeable mais ne compense pas l'ensemble des risques et des pollutions que présente un ensemble d'installations complexes et dangereuses, la production des déchets radioactifs dont on ne sait pas ce que sera le sort à long terme, les difficultés du démantèlement des installations, l'accroissement des risques de prolifération. D'autre part, le chauffage électrique alourdit en réalité le bilan des émissions de CO2 liées à la consommation d'électricité et crée des situations de grande vulnérabilité de la fourniture d'électricité en période de pointe.

L'éclairage apporté par l'analyse du programme nucléaire français, considéré par beaucoup des promoteurs du "nucléaire dans tous les pays" comme un modèle, permet de soumettre quelques réflexions sur les meilleures façons de s'affranchir de la contrainte énergétique ou tout au moins d'en atténuer les effets.

Efficacité énergétique dans tous les secteurs, politique de transformation du système de transport, utilisation rationnelle et efficace du gaz, développement des énergies renouvelables nous paraissent devoir être les priorités de la politique énergétique : c'est une stratégie "gagnant - gagnant", sur le plan de l'économie et de l'emploi, de la sécurité énergétique, de l'environnement et de la coopération internationale, en particulier dans le cadre méditerranéen. Les potentiels sont considérables et les temps de retour des investissements d'autant plus favorables que les prix de l'énergie augmentent.