

# Le nucléaire : une solution marginale face aux défis de l'énergie et du climat

*Les promoteurs de l'énergie nucléaire voient dans la relance d'un programme ambitieux à court et moyen terme un élément majeur de solution à la double crise énergétique et climatique qui menace l'humanité. Le président français se fait le chantre de cette thèse et compte bien profiter de sa présidence de l'Union Européenne pour convaincre ses partenaires européens du caractère inéluctable et salvateur d'une relance volontariste du nucléaire en Europe, et d'en faire un élément majeur de la négociation « du paquet énergie climat ».*

*C'est sur la capacité réelle d'un tel plan de relance à apporter dans les délais nécessaires une contribution décisive aux objectifs de sécurité énergétique de l'Europe et la réduction massive des émissions de gaz à effet de serre à court et moyen terme que nous nous interrogeons dans ce chapitre, à partir de l'expérience française généralement donnée comme un exemple de réussite exemplaire sur ces deux points.*

*Global Chance*

# Nucléaire, énergie et climat

## 1. La convergence des risques à court terme

Dans un monde aujourd'hui confronté à l'envolée des cours des produits énergétiques fossiles et les craintes d'un bouleversement climatique à court terme, le nucléaire semble retrouver des couleurs, après une période de stagnation mondiale d'une vingtaine d'années dont les Français n'ont généralement pas conscience. Le gouvernement français milite fortement, aussi bien dans les instances européennes qu'au niveau international, pour une relance vigoureuse du nucléaire dans les pays qui en disposent déjà et pour la généralisation de l'accès au nucléaire civil des pays qui n'en disposent pas encore, en particulier autour de la Méditerranée.

Les principaux arguments avancés à l'appui de cette relance concernent la lutte contre le changement climatique et la sécurité énergétique.

### *Comment se présentent ces deux risques ?*

#### **Le risque climatique**

Le dernier rapport du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) montre la nécessité et l'urgence d'agir pour éviter le pire en termes de réchauffement du climat. Il montre tout d'abord que si la température moyenne de l'atmosphère dépasse de 2,5 ou 3 degrés celle de l'époque préindustrielle, le risque d'apparitions d'irréversibilités comme la fonte du permafrost, la chute du rôle des puits de carbone joué par les couverts forestiers ou l'océan, etc., devient majeur. Ces phénomènes, à leur tour, peuvent entraîner une dérive irrésistible du climat. C'est la raison pour laquelle des régions comme l'Europe se sont fixé un objectif qui, généralisé, permettrait de ne pas dépasser un réchauffement de 2 degrés.

La comparaison des scénarios établis par les climatologues montre que le respect de cette contrainte « 2° » n'a de bonnes chances statistiques d'être atteint que si l'humanité parvient à stabiliser à terme la concentration de l'ensemble des gaz à effet de serre (GES) vers 400 ou 450 parties par million en volume d'équivalent CO<sub>2</sub> (ppmv eq CO<sub>2</sub>). Mais l'analyse montre aussi que tout dépassement trop important de cette concentration cible dans la période intermédiaire, entre 2020 et 2100 (au-delà de 475 à 500 ppmv) risquerait de rendre définitivement impossible l'atteinte de cette cible et de provoquer des changements climatiques irréversibles.

En 2005, la concentration de CO<sub>2</sub> était déjà de 379 ppmv. Et depuis l'année 2000, les émissions mondiales de l'ensemble des GES, ont augmenté à un rythme de 3 % par an et ne montrent aucun signe d'inflexion. On voit bien dans ces conditions que la concentration maximale acceptable risque d'être dépassée bien avant 2050.

***C'est donc à beaucoup plus court terme que ne l'imaginent généralement les décideurs que se pose la question climatique. Pour éviter les dérives incontrôlables du climat terrestre il faut atteindre à très court terme un point d'inflexion et une chute de l'ordre de 40 % des émissions mondiales (en teq CO<sub>2</sub>) dès 2030 par rapport à 1990.***

Ceci implique la mise en place de politiques de réduction des émissions de chacun des gaz à effet de serre dont les influences sur le climat ont des caractéristiques différentes dans le temps et des points d'application sectoriels contrastés.

## La sécurité énergétique

Très généralement limitée à tort à la sécurité **d'approvisionnement énergétique**, la sécurité énergétique nationale et régionale dépend bien évidemment de nombreux autres paramètres. À la vulnérabilité vis-à-vis de l'extérieur qui dépend à la fois de la nature des produits énergétiques (et des conditions géopolitiques associées), des secteurs économiques, mais aussi de l'efficacité énergétique sectorielle, s'ajoutent bien évidemment une série de paramètres qui concernent la vulnérabilité interne des économies : vulnérabilité aux phénomènes naturels (pluviométrie, régime des vents, crues et sécheresses, ouragans, sismologie, etc.) ou aux accidents de nature technique, mais aussi à des perturbations anthropiques, qu'il s'agisse d'actes de malveillance, de mouvements sociaux, ou de phénomènes de pointe de consommations. Là encore, l'analyse de la sécurité suppose, non seulement une exploration par technologie, par produit, par vecteur énergétique, par secteur économique et par territoire, mais aussi celle du plus ou moins grand foisonnement des solutions de rechange en cas de crise.

Les problèmes de sécurité énergétique de l'Europe aujourd'hui ne se réduisent donc pas aux questions de dépendance vis-à-vis du pétrole ou du gaz, même si la hausse récente et extrêmement rapide du coût de ces matières premières et les craintes d'une raréfaction à court terme de leurs ressources mobilise à juste titre l'attention des pouvoirs publics, des citoyens et des consommateurs.

### Agir vite et fort

Ces préoccupations de sécurité énergétique et de lutte contre le changement climatique ne sont pas nouvelles.

*Par contre ce qui est nouveau, c'est que les risques associés sont aujourd'hui reconnus non plus comme des risques de long terme, vers la fin du siècle, mais comme des risques de court terme, avant ou vers 2030. L'échelle des valeurs des solutions proposées pour faire face à ces deux crises dépend donc au premier chef de leurs dynamiques potentielles de pénétration d'ici 20 à 30 ans.<sup>1</sup>*

Au cœur de ces questions de dynamique, on trouve évidemment des considérations de nature économique et financière, mais aussi toute une série de questions qui relèvent de la formation des hommes, de l'organisation sociale, de l'organisation industrielle, de l'aménagement des territoires et des échanges territoriaux et mondiaux.

### Le nucléaire face à ces enjeux

C'est donc à l'aune de ces défis qu'il faut apprécier l'intérêt d'une relance du nucléaire, sans quoi l'on risque fort, comme on l'a déjà fait plusieurs fois dans le passé, de se bercer d'illusions et de se préparer à de nombreux déboires.

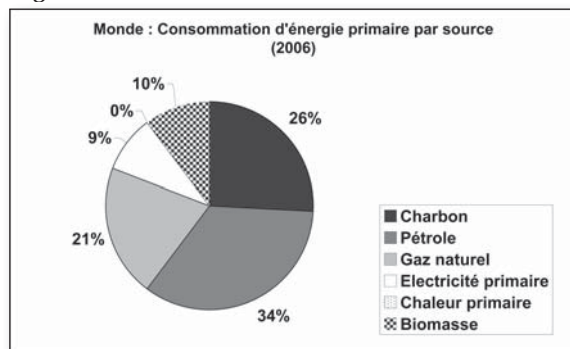
## 2. En 2006 ou en est-on ?

La figure 1 montre la décomposition par source d'énergie de la consommation d'énergie primaire dans le monde en 2006.

On constate que la source « électricité primaire »<sup>2</sup> représente 9 % de la consommation mondiale totale. Compte tenu des coefficients d'équivalence retenus au niveau international entre TWh électriques et Mtep<sup>3</sup>, la part de nucléaire dans le bilan primaire atteint 6 %.

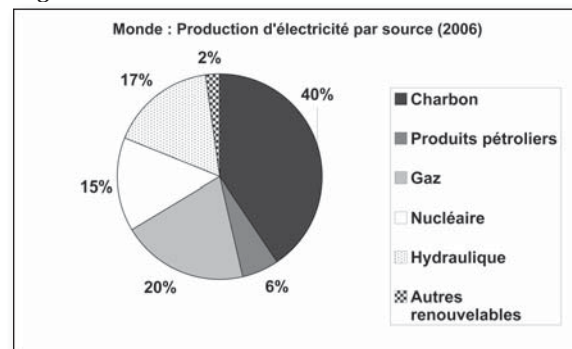
La production mondiale d'électricité est assurée, avec 2 800 TWh en 2006, pour 15 % par l'énergie nucléaire tandis que la part des énergies renouvelables est de 19 %, le reste étant assuré par les combustibles fossiles (fig 2).

Figure 1



Source : Enerdata

Figure 2



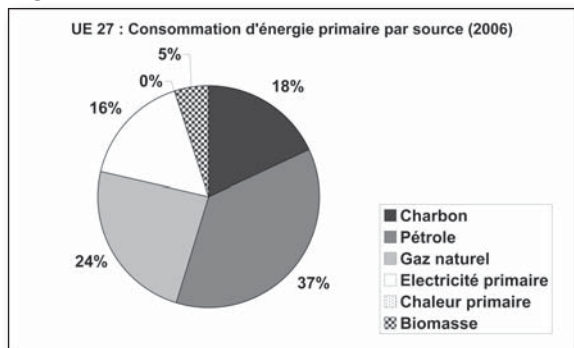
1 - C'est la raison pour laquelle une série de ruptures technologiques, par exemple la fusion thermonucléaire contrôlée, voire même les réacteurs de quatrième génération, dont les apparitions industrielles respectives se situent au mieux en 2080 ou 2040, n'apparaissent donc pas comme des solutions plausibles au problème posé.

2 - Constituée principalement de l'électricité d'origine nucléaire et hydraulique, mais également de l'éolien et du photovoltaïque dont les productions mondiales sont encore marginales.

3 - 1 TWh nucléaire = 0,21 Mtep et 1 TWh électricité renouvelable = 0,086 Mtep.

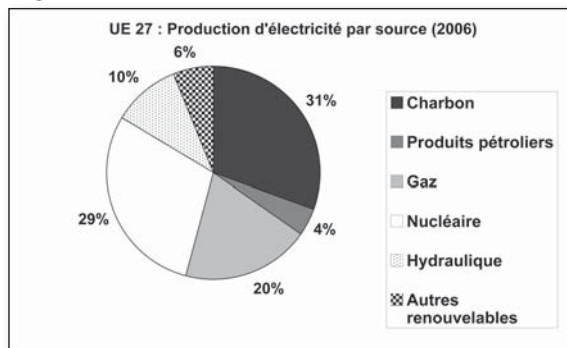
La consommation d'électricité primaire de l'Europe des 27 (figure 3), représente 18 % de sa consommation primaire totale, une part deux fois plus forte qu'au niveau mondial. Celle du nucléaire atteint 13 % de ce bilan primaire. La production d'électricité nucléaire de l'Europe des 27 (figure 4) représente 29 % de la production d'électricité totale derrière le charbon (31 %) et devant le gaz (20 %) et l'ensemble des renouvelables (16 %).

**Figure 3**



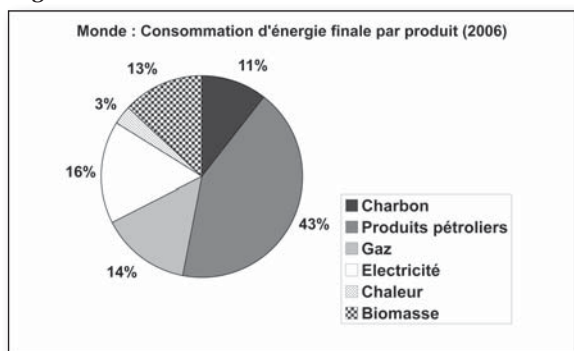
Source : Enerdata

**Figure 4**



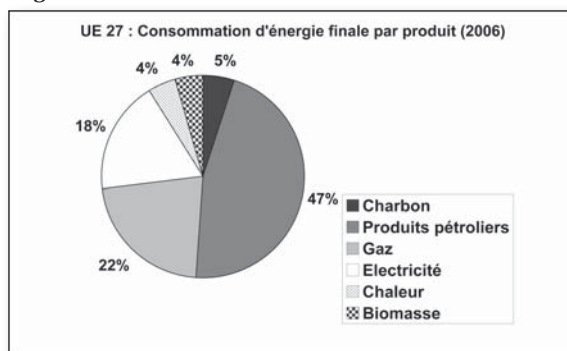
Il est important de compléter ce tableau général par une analyse de la consommation finale d'énergie mondiale et européenne par produits énergétiques. Il s'agit en effet de l'énergie mise effectivement à disposition des usagers après diverses transformations, aux bornes des compteurs de gaz, d'électricité ou de chaleur, au réservoir des camions et des voitures, sur le carreau des usines, etc. C'est l'objet des figures 5 et 6.

**Figure 5**



Source : Enerdata

**Figure 6**



L'électricité contribuant pour 16 % au bilan mondial en énergie finale (figure 5) et le nucléaire pour 15 % à la production d'électricité (figure 2), il s'en suit que le nucléaire contribue pour 2,4 % à la consommation finale mondiale d'énergie.

De même, l'électricité contribuant pour 18,3 % au bilan européen en énergie finale (fig 6) et le nucléaire pour 29,5 % à sa production d'électricité (figure 4), il s'en suit que le nucléaire contribue pour 5 % à la consommation finale européenne d'énergie.

Le tableau 1 résume l'ensemble de ces données

**Tableau 1 : Part du nucléaire dans la consommation d'énergie**

Part du nucléaire en % en 2006	Dans la consommation d'énergie primaire	Dans la production d'électricité	Dans la consommation d'énergie finale
Monde	6 %	15 %	2,4 %
Europe des 27	13 %	29,5 %	5 %

Dans le cas de la France, les produits pétroliers ont représenté en 2007 49 % de la consommation d'énergie finale dont ils constituent le premier poste, loin devant le gaz (21 %), l'électricité (21 %) et les énergies renouvelables thermiques (6 %).

La consommation finale d'électricité est de 424 TWh<sup>4</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 14 %.

4 - TWh : TeraWatheure ou milliard de kWh (kilowatheure).

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

Les contributions du nucléaire varient énormément selon les pays qui y ont recours. À eux seuls 3 pays, les États-Unis, la France et le Japon y contribuent pour 56 %. En Europe, la France, à elle seule, produit 45,5 % de l'électricité d'origine nucléaire de l'Union.

Le tableau 2 indique d'autre part la part du nucléaire dans la production d'électricité nationale des principaux pays dotés de cette technologie. Il fait ressortir la situation très particulière de la France dans ce domaine.

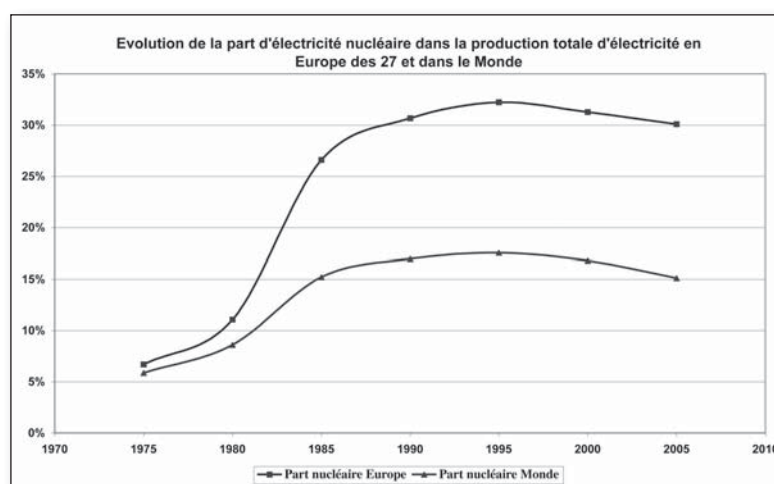
**Tableau 2 : Part du nucléaire dans la production d'électricité nationale (2005)<sup>5</sup>**

Pays	France	Ukraine	Suède	Corée du Sud	Japon	Allemagne	Roy. Uni	États-Unis	Russie	Canada	Reste du Monde
	79	48	46	38	28	26	20	19	16	15	8

## Que s'est-il passé dans les deux dernières décennies ?

La production d'origine nucléaire mondiale a augmenté de 40 % depuis une vingtaine d'années : 2 800 TWh en 2008 contre 2 010 TWh en 1989. Par contre la puissance installée, 371 GW début 2008 (439 réacteurs) contre 328 GW en 1989 (423 réacteurs), n'a progressé que de 13 %, ce qui traduit à la fois une stagnation des commandes de nouvelles centrales et une amélioration du taux d'utilisation des centrales existantes.

La production d'électricité nucléaire de l'Europe des 27 est passée pendant la même période de 775 à 999 TWh, une augmentation de 29 %, plus modeste qu'au niveau mondial.



**Figure 7**

Mais pendant la même période la production mondiale d'électricité a cru de 63 % et celle de l'Europe des 27 de 33 %. L'évolution dans le temps de la part du nucléaire dans les bilans électriques mondial et Européen (figure 7) fait donc logiquement apparaître un maximum autour des années 1995 et une décroissance continue depuis cette date.

L'évolution des capacités pour les différentes sources de production d'électricité au cours des dernières années (tableau 3) illustre les raisons de cette chute de la part du nucléaire qui s'accélère depuis le début du siècle.

**Tableau 3 : Augmentation des capacités installées entre 2000 et 2006.**

Source	Charbon	Pétrole	Gaz	Biomasse	Nucléaire	Hydraul.	Eolien	Total
1 000 MW	280	28	398	11	22	105	53	
Part	31 %	3 %	44 %	1,3 %	2,4 %	11,7 %	6 %	100 %

Entre 2000 et 2006, 18 fois plus de capacités de production électrique à gaz, 13 fois plus de capacités à charbon, 5 fois plus de capacités hydrauliques et même 3 fois plus de capacités éoliennes<sup>6</sup> ont été mises en route dans le monde que de capacités nucléaires.

<sup>5</sup> - Source : AIE, « Key world energy statistics », 2007.

<sup>6</sup> - Le tableau indique les puissances installées ; en termes de production d'électricité et à puissance égale, une centrale thermique à combustible fossile ou une centrale nucléaire, fonctionnant en base, fournira entre 2 et 3 fois plus d'électricité qu'une centrale éolienne soumise à l'intermittence du vent.

## Les émissions de CO2 évitées en 2006.

Pour apprécier les économies de CO2 engendrées par les différents programmes nucléaires au niveau mondial, européen, ou national, on peut faire l'hypothèse qu'en l'absence de programme nucléaire l'électricité substituée le serait avec une variété de sources analogue à celle que nous constatons aujourd'hui hors nucléaire<sup>7</sup>. Sur cette base l'économie mondiale de CO2 engendrée en 2006 par le programme nucléaire mondial serait de 1,8 Gtonnes de CO2 et de 0,43 Gtonnes pour l'Europe des 27.

Ces émissions évitées en 2006 représenteraient 3,6 % de l'ensemble des émissions mondiales de GES (50 Gteq CO2) et 10 % des émissions européennes de GES.

Si l'on se borne à l'analyse du CO2 du système énergétique, le programme nucléaire contribuerait à une réduction de l'ordre de 6 % pour le Monde et de 15 % pour l'Europe des 27.

Mais si, dans le cadre de la lutte contre le changement climatique, l'on remplaçait l'ensemble des centrales nucléaires mondiales actuelles par des cycles combinés à gaz modernes<sup>8</sup>, cela nécessiterait une consommation supplémentaire de 420 Mtep de gaz naturel (+17 %) responsables d'émissions de CO2 de 1 Gtonne de CO2. L'Europe consommerait 135 Mtep de gaz naturel supplémentaire (+30 %) responsables d'émissions de 320 Mtonnes de CO2.

Le tableau 4 rassemble de façon synthétique les différentes données précédentes pour 2006.

**Tableau 4 : Contributions du nucléaire en 2006**

Contributions du nucléaire à :	Monde	Europe des 27
La réduction d'émissions de CO2 du système énergétique	6 %* à 4 %**	15 % à 11 %
La réduction d'émissions de l'ensemble des GES (en eq CO2)	3,6 % à 2 %	10 % à 7 %

\* variété actuelle de production d'électricité

\*\* cycles combinés au gaz naturel

Voilà, ramené à la réalité, ce que représente en 2006 le nucléaire en termes de lutte contre le changement climatique. Ce n'est évidemment pas négligeable. Il faut cependant prendre conscience du fait que l'impact des programmes nucléaires actuels sur les gaz à effet de serre, même en Europe, reste très modeste et décroissant chaque année depuis les années 90.

**Les émissions de gaz à effet de serre de la France** ont été en 2005 de 553 Mteq CO2<sup>9</sup>, dont 378 Mtonnes de CO2.

Pour évaluer la contribution du nucléaire à la réduction des émissions, nous comparons les émissions de CO2 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 60 et 100 Mteq CO2, soit 15 % à 20 % des émissions totales de gaz à effet de serre de la France. C'est loin d'être négligeable, mais il en 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 CO2 à la production devraient en toute logique lui être attribuées.

Si la production d'origine nucléaire est remplacée par une production d'origine renouvelable, le gain en réduction des émissions de CO2 est comparable et même supérieur (dans le cas de l'éolien par exemple).

## La sécurité énergétique

On a vu plus haut les conséquences globales des programmes nucléaires sur l'approvisionnement du Monde et de l'Europe en énergie primaire (respectivement 6 et 13 % avec les coefficients d'équivalence électrique) et en énergie finale (respectivement 2,4 et 5 %). Cette analyse globale doit être complétée par une analyse sectorielle et par produit énergétique. En effet :

- l'électricité est bien adaptée à un certain nombre d'usages domestiques, tertiaires et industriels, mais pratiquement interdite d'accès à certains secteurs comme les transports routiers, aériens et maritimes.
- l'électricité nucléaire présente des caractéristiques spécifiques qui limitent pratiquement ses usages à des applications « en base » (utilisation relativement stable et de longue durée sur l'année).

7 - Monde : 21 % renouvelables, 48 % pour le charbon, 24 % pour le gaz, 7 % pour le pétrole, Europe : 22,5 % renouvelables, 44 % pour le charbon, 28 % pour le gaz, 5,5 % pour le pétrole.

8 - Centrales à cycle combiné à gaz de rendement 58 %.

9 - La « tonne équivalent CO2 » ou teq CO2 est une unité conventionnelle commune pour les émissions des différents gaz à effet de serre.

**Pétrole.** Les programmes nucléaires actuels n'apportent qu'une très faible participation à la nécessaire substitution du pétrole dont la consommation<sup>10</sup> à des fins énergétiques est à 68 % due aux transports au niveau mondial et européen. L'énergie nucléaire permet par contre des substitutions dans le secteur industriel et plus marginalement dans le secteur domestique où le chauffage électrique peut faire appel en période de pointe aux capacités consommant du fuel.

**Charbon.** C'est là que les programmes nucléaires mondiaux actuels apportent la contribution la plus significative en se substituant à des capacités électriques au charbon qui procurent un service analogue (électricité de base ou de semi base) et satisfont à travers le chauffage électrique ou des procédés électriques spécifiques, à des applications industrielles et domestiques. Dans ce dernier domaine le chauffage électrique fait cependant appel à des moyens de production ex charbon pendant les périodes de pointe (voir gros plan p 18).

**Gaz naturel.** La production nucléaire actuelle d'électricité se substitue pour une part à des capacités électriques à gaz et, à travers le chauffage électrique, à des applications industrielles et domestiques. Dans ce dernier domaine le chauffage électrique fait cependant appel à des capacités électriques ex gaz pendant les périodes de pointe.

Le tableau 5 illustre ces différents points pour une série de pays européens très hétérogènes dans leur recours au nucléaire pour leur production d'électricité.

**Tableau 5 : Consommations de produits énergétiques fossiles par habitant de plusieurs pays d'Europe en 2007**

Pays		UE 27	Allemagne	France	Italie	Roy.-Uni
Pétrole	tep	1,32	1,36	1,46	1,31	1,33
dont prod. élec	tep	0,05	0,03	0,04	0,12	0,02
Gaz naturel	tep	0,88	0,95	0,62	1,17	1,35
dont prod. élec	tep	0,28	0,22	0,09	0,47	0,45
Charbon	tep	0,66	1,02	0,22	0,29	0,63
dont prod. élec	tep	0,5	0,86	0,11	0,2	0,53
Part nucléaire*		28 %	22 %	77 %	0 %	16 %

\*Part de la production brute d'électricité d'origine nucléaire dans la production brute totale d'électricité.

On y constate qu'un pays comme la France qui produit près de 80 % de son électricité à partir du nucléaire consomme plus de pétrole par habitant que la moyenne des Européens, que l'Allemagne (28 % de nucléaire), le Royaume Uni (20 % de nucléaire) et l'Italie (0 % de nucléaire).

Il est donc manifeste que le nucléaire, contrairement à l'opinion largement répandue, n'est pas en 2006 une réponse efficace à la pression pétrolière. Il n'en est pas de même pour le gaz et le charbon dont la consommation par habitant en France est plus faible que la moyenne européenne (-25 % pour le gaz et - 69 % pour le charbon). Notons enfin qu'en France, le remplacement de l'ensemble des centrales nucléaires par des cycles combinés à gaz pour mettre à disposition la même quantité d'électricité au consommateur final augmenterait de 0,8 tep par habitant la consommation de gaz naturel<sup>11</sup>, mais en diminuant la consommation primaire d'énergie par habitant de 1,4 tep<sup>12</sup>.

## Les autres aspects de la sécurité énergétique :

La centralisation des moyens de production, exacerbée dans le cas du nucléaire<sup>13</sup> engendre une vulnérabilité particulière aux conséquences d'une défaillance de production ou de transport de l'électricité d'autant plus que la taille des unités et des sites est importante. Dans le cas d'une forte proportion de nucléaire dans la production d'électricité (supérieure à 25 ou 30 %), et bien évidemment encore bien plus en France (79 %), les pannes génériques éventuelles qui peuvent affecter toute une génération de centrales sont une autre source majeure de vulnérabilité.

À ces différentes sources d'insécurité intérieure s'ajoutent les vulnérabilités intrinsèques associées à la filière nucléaire, de l'approvisionnement en uranium aux risques d'accident majeur, en passant par l'ensemble des risques pour l'environnement et de prolifération associés au cycle du combustible nucléaire qui feront l'objet d'un traitement spécifique dans la seconde partie de ce numéro.

10 - Hors usages non énergétiques.

11 - Petit mémento énergétique fiche 4 « les cahiers de Global Chance » [www.global-chance.org](http://www.global-chance.org)

12 - Cet écart tient au mauvais rendement thermodynamique de la filière nucléaire (33 % contre 58 % pour les cycles combinés à gaz) et aux dépenses énergétiques du cycle du combustible nucléaire (en particulier Eurodif, usine d'enrichissement de l'uranium).

13 - Du fait de la taille des unités et de la difficulté de trouver des sites (en France, (58 centrales sur une vingtaine de sites pour une production nette de 419 TWh en 2007). Les sites de centrales à charbon peuvent cependant atteindre des tailles unitaires voisines des unités nucléaires.

## Résumons-nous

*En 2006 la filière nucléaire, en déclin relatif depuis 10 ans par rapport aux autres moyens de production d'électricité et plus généralement d'énergie, contribue pour moins de 2,5 % aux besoins finaux d'énergie de l'humanité et à 5 % des besoins d'énergie finale de l'Europe des 27. C'est évidemment très modeste.*

*Elle permet d'éviter, au niveau mondial, des émissions mondiales de gaz à effet de serre de l'ordre de 2 à 3,6 %<sup>14</sup> et de 7 à 10 % en Europe. Elle évite au niveau mondial la mobilisation de 420 Mtep supplémentaires de gaz naturel ou de 550 Mtep de charbon (respectivement 17 et 18 % des consommations actuelles).*

*Par contre son effet sur la consommation de pétrole reste tout à fait marginale.*

*En dehors des risques spécifiques qu'elle entraîne (accident majeur, prolifération, déchets), elle crée des vulnérabilités particulières du fait de la centralisation extrême des moyens de production qu'elle met en œuvre.*

## 3. Les enjeux à 2030

La relance actuellement envisagée, ou plutôt proclamée, au niveau mondial comme au niveau européen est-elle de nature à changer significativement la donne dans les 20 ans qui viennent vis-à-vis des questions de sécurité énergétique et de changement climatique ?

Pour en évaluer les véritables enjeux il n'est pas inutile de réexaminer à la lumière des évolutions récentes le scénario SUNBURN<sup>15</sup> de relance mondiale du nucléaire établi en 2005 et dont les hypothèses principales étaient les suivantes :

- L'universalité de la solution, au sens du refus d'exclure certains pays pour des raisons idéologiques ou politiques, économiques, etc.
- Le maintien jusqu'en 2030 du caractère national des programmes que nous connaissons aujourd'hui.
- Un fonctionnement en base du nucléaire (de l'ordre de 7000 heures par an) pour assurer une rentabilité suffisante des installations.
- Un seuil minimum de demande électrique annuelle au-dessous duquel il n'est pas envisageable, pour des raisons de sécurité de fourniture, d'introduire des tranches nucléaires. Le seuil retenu était de 4GW. Combiné à l'hypothèse d'un fonctionnement en base on aboutit à un seuil d'accès de l'ordre de 60 TWh/an<sup>16</sup>.
- Des contributions à la base des autres moyens de production différenciés : 30 % pour l'hydraulique, 20 % pour l'éolien, 60 % pour la biomasse, 100 % pour les déchets et la géothermie,
- Enfin des durées de vie des installations s'étageant de 20 à 50 ans pour les différentes filières de production et des délais de construction de 1 an (éolien) à 6 ans (nucléaire) et de mise en route des programmes nucléaires de 3 à 5 ans pour les nouveaux pays entrants.

Le scénario SUNBURN établit sur ces bases, par pays ou par zone géographique, et année après année, sur la base du scénario « Business as usual » de l'AIE<sup>17</sup>, les besoins d'électricité de base, les capacités existantes en service et leur contribution à la production de base, les capacités renouvelables mises en place et leurs contributions à la production de base, enfin les besoins restants susceptibles d'être satisfaits par l'énergie nucléaire. Une part plus ou moins grande de ce besoin résiduel est alors rempli par l'énergie nucléaire, compte tenu du délai initial de démarrage des programmes et des dynamiques industrielles.

Avec ces différentes hypothèses normatives, on assistait bien entendu à un développement extrêmement rapide du nucléaire mondial à partir de 2015. Les mises en service de nouvelles capacités, de l'ordre de 3GW par an en moyenne entre 2000 et 2005, atteignaient dans ces conditions une vingtaine de GW dès 2015, 40 GW en 2020 75 GW en 2025 et plus de 100 en 2030 (soit l'équivalent du parc américain actuel), un marché mondial multiplié par 50 en 25 ans. La capacité nucléaire atteignait 1 200 GW en 2030 pour une production électrique de près de 9000 TWh/an. Une trentaine de nouveaux pays (8 en Europe<sup>18</sup>, 4 en Amérique du Sud, 5 en Afrique, 5 au Moyen Orient, 7 en Asie) accédaient au nucléaire. L'Europe des 27 cumulait 1 400 TWh en 2030, la Chine, l'Inde, la Corée

<sup>14</sup> - Selon les substitutions envisagées.

<sup>15</sup> - Le scénario Sunburn de relance du nucléaire mondial (B Dessus, et PH Girard) Cahiers de Global Chance n° 20, 2006.

<sup>16</sup> - Les besoins de base représentent environ 50 % des besoins annuels totaux.

<sup>17</sup> - World Energy Outlook 2004.

<sup>18</sup> - Dont le Portugal, l'Italie, la Pologne, la Grèce, l'Autriche, et le Danemark.



du Sud malgré l'abondance du charbon régional bon marché, cumulaient aussi près de 1 400 TWh à eux seuls en 2030.

Pourtant même dans des circonstances aussi manifestement favorables au nucléaire, les conséquences sur les émissions de CO<sub>2</sub> et les ressources fossiles restaient relativement modestes. La comparaison avec le scénario de l'AIE où le nucléaire se maintient à son niveau actuel est éclairante :

*S'il était intégralement appliqué, le scénario Sunburn permettrait d'éviter, en 2030, 9 % de l'ensemble des émissions de CO<sub>2</sub> énergétiques par rapport au scénario prévisionnel de l'AIE (5 à 6 % par rapport à l'ensemble des GES de 2030), mais seulement 2,9 % des émissions cumulées de 2006 à 2030 de ce même scénario, soit 7 mois d'émissions de l'année 2030. Il permettrait d'autre part une économie de l'ordre de 15 % d'énergie fossile en 2030 mais seulement 5 % du cumul de l'énergie fossile dépensée d'ici 2030, essentiellement du charbon et du gaz naturel. Il s'avérerait par contre largement inopérant dans le domaine pétrolier.*

*En Europe, cette relance permettrait en 2030 d'économiser 200 Mtep de gaz naturel (30 %) et d'éviter des émissions de 480 Mtonnes de CO<sub>2</sub> par rapport à l'hypothèse d'un abandon total du nucléaire à cet horizon.*

Une situation somme toute assez semblable à celle que nous connaissons en 2006.

Les auteurs pointaient déjà avec insistance les nombreuses questions critiques à résoudre :

- la question financière, avec un investissement de 50 milliards d'euros par an en moyenne de 2015 à 2030, sur la base d'un coût estimé à l'époque de 1 500 euros/kW, (avec 1 euro à 1,20 dollar).
- la question des besoins en compétences avec la nécessité de former 500 000 techniciens avant 2030 dans des structures aujourd'hui inexistantes,
- la question des capacités industrielles, aussi bien de construction des centrales, que de mise en place du cycle du combustible, ou d'ouverture de nouvelles mines d'uranium,
- la question de la gouvernance, avec la nécessité d'un investissement humain et organisationnel majeur de la part des pays qui souhaitent se doter d'un programme dans les 10 à 15 ans qui viennent, mais aussi de fixation de règles internationales qui s'imposent à tous les pays concernés (circulation des matières et déchets, mesures contre les risques de prolifération, sûreté et sécurité des installations, etc.). À ce propos, dans une note très récente, l'Autorité de sûreté nucléaire française insiste en ces termes sur cette question en sous titrant son texte de la formule « *Parlons clair. L'apprentissage de la sûreté nucléaire est une longue marche* »<sup>19</sup>.

Sans compter bien entendu les risques spécifiques engendrés par cette relance (risques d'accident majeur, prolifération, déchets) liés à la multiplication des installations, à leur rapide dissémination géographique et à l'irréversibilité des solutions technologiques qu'induirait un tel scénario en imposant la réussite du pari d'une généralisation à l'échelle de la plupart des pays du monde de filières nucléaires reposant sur l'usage massif du plutonium, rendu indispensable au nom de la pérennité de la ressource.

### ***Trois ans plus tard, où en sommes-nous, au-delà des proclamations, par rapport à cette image ?***

On constate tout d'abord qu'en 2007 la production nucléaire a poursuivi son déclin (-2 % par rapport à 2006) et qu'aucun programme d'envergure n'a été lancé depuis 2005. La construction des deux seuls réacteurs prévus en Europe, l'EPR finlandais et l'EPR français (à l'exception, il est vrai, des deux réacteurs bulgares Belene 1 et 2 officiellement en construction depuis 1987) rencontre dès le début des difficultés et des retards importants (de l'ordre d'au moins deux ans pour l'EPR finlandais).

On constate d'autre part que les coûts d'investissement du nucléaire en dollars se sont envolés depuis 2000<sup>20</sup>, de 170 %, beaucoup plus vite que ceux de l'éolien (110 %) et surtout que ceux des centrales à charbon (80 %) et des centrales à gaz (90 %). Il est dans ces conditions très improbable que les grands pays asiatiques et les États-Unis qui disposent de réserves importantes et bon marché de charbon y renoncent presque totalement pour la production d'électricité de base et adoptent massivement la filière nucléaire.

De même l'absence d'investissement dans la recherche et la production d'uranium de ces 10 dernières années se traduit par une tension sur les prix de l'uranium qui se sont multipliés par 10 sur le marché spot depuis 2002. Tension qui a toutes chances de se maintenir, voire d'augmenter puisque les délais d'ouverture de nouvelles mines ne

19 - Position du collège de l'ASN : « *Il faut assurer la sûreté des nouveaux projets de construction de réacteurs nucléaires dans le monde* » 16 juin 2008.

20 - Cambridge Energy Research Associates, *Construction Costs for New Power Plants Continue to Escalate : IHS CERA Power Capital Costs Index*, [www.cera.com](http://www.cera.com)

cessent de se rallonger. Enfin les tensions politiques, aussi bien en Corée du Nord qu'en Iran à propos du nucléaire ont renforcé depuis 2005 la méfiance de la communauté internationale vis-à-vis de l'accès d'un certain nombre de pays au nucléaire, fût-il civil.

À la lumière de cette évolution et malgré le discours optimiste des promoteurs du nucléaire, il paraît clair que la réalisation d'un tel scénario, considéré déjà en 2005 comme particulièrement optimiste, est de plus en plus improbable, (même avec un délai supplémentaire de 4 à 5 ans qui aurait des conséquences importantes en 2030)<sup>21</sup>

Plus récemment l'AIE, pour le compte du G8, renonçant sans raison très explicite à son attitude réservée sur les capacités de croissance mondiale du nucléaire à l'horizon 2030<sup>22</sup>, produit un scénario beaucoup plus favorable à l'énergie nucléaire<sup>23</sup>. Il est fondé sur une hypothèse assez simpliste d'adoption d'un rythme de croissance par rapport au PIB mondial analogue à celui qu'a connu le nucléaire à sa période la plus faste. Sur cette base, le scénario « Bluemap », le plus favorable à la filière nucléaire, arguant des plans de fort développement potentiel affichés par la Chine, la Russie, l'Afrique du sud, les États-Unis, l'Ukraine, et l'Inde, et d'une estimation des coûts d'investissement futurs nucléaire de l'ordre de 2 500 \$/kW projette une production nucléaire mondiale de l'ordre de 6 000 TWh en 2030 et de 9 000 TWh en 2050. Mais cette analyse de type industriel évite, au contraire du scénario Sunburn, toute description des besoins et des contraintes régionales, n'aborde pas la question des ressources en uranium et semble très optimiste en matière de coûts d'investissement par rapport à la réalité d'aujourd'hui.<sup>24</sup>

Imaginons néanmoins qu'il puisse être mis en œuvre dans les délais prévus. Il permettrait aux dires mêmes de l'AIE une économie des émissions de CO<sub>2</sub> du système énergétique de 5 % en 2050 (3,5 % environ de l'ensemble des GES) à cet horizon<sup>25</sup>. C'est non seulement très peu dans l'absolu mais surtout très peu par comparaison avec les autres pistes suggérées par la même étude et en particulier celle des économies d'électricité qui sont estimées à elles seules à plus du double (10 %) et à des coûts bien inférieurs (voir gros plan p 17).

***L'ensemble des études d'une relance massive du nucléaire, au-delà des questions de crédibilité politique et économique qu'elles soulèvent, montrent donc la marginalité des résultats qu'on peut en attendre à moyen terme (2030) du double point de vue de la sécurité énergétique et du réchauffement climatique.***

Le caractère indispensable d'un recours massif à l'énergie nucléaire pour répondre aux deux défis principaux qui nous guettent à l'horizon 2030, celui du climat et celui de la sécurité énergétique, n'est donc pour le moins pas avéré. Dans tous les cas, la contribution du nucléaire à la solution de ces questions garde un aspect marginal.

C'est en balance de cette marginalité, intentionnellement absente du discours des promoteurs du nucléaire, qu'il faut analyser l'ensemble des problèmes politiques, économiques, environnementaux et sociétaux majeurs qu'induirait une relance mondiale et européenne massive de la filière nucléaire comme celle proposée aujourd'hui par la Présidence française de l'Union européenne.

21 - Un retard de 5 ans diminuerait de 30 % la production nucléaire en 2030.

22 - Dans les scénarios Outlook 2004 et 2006 le nucléaire stagnait ou connaissait une croissance modeste de 2GW par an dans Outlook 2006.

23 - Energy technology perspectives 2008, Scenarios and strategies to 2050, AIE.

24 - Une sous-estimation de l'ordre de 30 à 40 % par rapport aux coûts estimés du réacteur EPR finlandais.

25 - Au point qu'on peut se demander si l'AIE n'a pas volontairement dressé ce scénario a priori optimiste pour en souligner l'inefficacité et le manque d'intérêt par rapport à d'autres pistes de réduction des émissions de GES.

## GROS PLAN

### Économies d'électricité contre relance nucléaire ?

Dans son rapport « Energy technology perspectives 2008, Scenarios and strategies to 2050 », l'AIE propose un scénario de relance du nucléaire mondial censé permettre d'atteindre une production d'électricité de 6 000 TWh en 2030 contre 2 800 aujourd'hui, grâce à l'installation de 500 GW supplémentaires par rapport au scénario « Business as usual » de stagnation du nucléaire pour un coût d'investissement cumulé d'un minimum de 1 000 milliards d'euros. Poussé jusqu'en 2050, ce programme, avec 9 000 TWh, représenterait 6 % de l'effort indispensable pour ramener les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> à 14 Gtonnes à cette époque. Dans cette même étude l'AIE examine l'ensemble des autres possibilités de réduction des émissions à l'horizon 2050. c'est l'objet du tableau 1.

**Tableau 1. Contributions de différentes options de réduction de CO<sub>2</sub> du système énergétique à l'horizon 2050**

Secteurs d'action de réduction de CO <sub>2</sub>	Gtonnes CO <sub>2</sub>	Réduction %
Séquestration du CO <sub>2</sub> dans l'industrie	4,3	9 %
Séquestration du CO <sub>2</sub> dans la production d'électricité	4,8	10 %
Nucléaire	2,8	6 %
Renouvelables	10,1	21 %
Total activités productives	22	46 %
Efficacité et substitutions dans la production d'électricité	3,4	7 %
Substitutions dans les usages finaux de l'énergie	5,3	11 %
Économies d'électricité	5,8	12 %
Économies de carburants	11,5	24 %
Total économies d'énergie	26	54 %
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>100 %</b>

Les économies d'énergie jouent le rôle principal avec 54 % du total, suivies des énergies renouvelables pour 21 % et de la séquestration du CO<sub>2</sub> pour 19 %. Le nucléaire arrive bon dernier avec 6 % du total des réductions, deux fois moins que les économies d'électricité

Pour illustrer ce dernier point sur un exemple significatif il n'est pas inutile de rappeler que l'AIE a aussi publié en 2006 un rapport exclusivement consacré à un programme d'économie d'électricité de l'éclairage mondial et à ses diverses conséquences « Light's labour's lost: policies for energy efficient policies ». On y apprend que la consommation totale d'électricité entraînée par l'éclairage atteignait 2 650 TWh en 2005, 19 % de l'ensemble des consommations d'électricité mondiale. L'AIE compare l'évolution de cette consommation dans un scénario « business as usual » et dans un scénario où des lampes économes sont systématiquement introduites chaque fois que leur durée d'usage annuelle le justifie. L'économie d'électricité en 2030 atteindrait ainsi 1 635 TWh, la moitié de la production supplémentaire d'électricité nucléaire proposée par l'AIE.

Mais à quel coût d'investissement ? Sur la base d'un coût estimé par l'AIE à 1 \$ par lampe à incandescence de 100 W, de durée de vie de 1 500 heures et de 5 \$ pour une ampoule économe de durée de vie de 10 000 heures (environ 7 fois supérieure) il serait nécessaire de renouveler 20 fois d'ici 2030 les ampoules à incandescence contre trois fois les ampoules économes d'ici 2030. L'investissement supplémentaire cumulé de ce programme d'achat de lampes économes atteindrait alors 75 milliards \$ en 2030<sup>1</sup> contre près de 100 milliards de dollars pour l'achat de lampes à incandescence qu'il aurait fallu renouveler à un rythme 7 fois plus élevé. Sans même compter les économies d'électricité ainsi réalisées chaque année, de l'ordre de 165 milliards de dollars en 2030.<sup>2</sup>

1 - Achat cumulé de 100 milliards de lampes à incandescence entre 2010 et 2030 contre 15 milliards de lampes économes sur la même période.

2 - hyp : 10 cts\$/ kWh

## GROS PLAN

### Pas si vertueux que cela le chauffage électrique !

L'option « tout électrique, tout nucléaire » sur laquelle avait surfé la France depuis les années 70 au titre de son « indépendance énergétique » et qui avait conduit à une utilisation massive du chauffage électrique par effet joule a trouvé, à partir du milieu des années 90, une nouvelle justification de taille : la quasi absence d'émissions de gaz carbonique, le principal gaz à effet de serre. Les vendeurs de convecteurs et EDF tenaient là un bon argument de vente.

Ce n'était pourtant pas si simple. Même en France en effet, où près de 80 % de l'électricité provient du nucléaire, le chauffage électrique fait appel à de l'électricité d'origine fossile responsable d'émissions de CO<sub>2</sub>. En effet, en hiver, la pointe de chauffage y est bien souvent satisfaite avec des moyens de production fossiles. Au point que l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) et Électricité de France (EDF) annonçaient pour la période 2000-2004 des émissions moyennes de 180 g par kWh électrique de chauffage domestique. Un gain modeste par rapport à un chauffage à gaz moderne (<10%) mais plus confortable par rapport à un chauffage au fuel (40 %) comme le montre le tableau 1.

**Tableau 1. Comparaison des émissions de CO<sub>2</sub> de différents modes de chauffage en France sans échanges d'électricité avec l'Europe.**

Mode de chauffage	Émissions de CO <sub>2</sub> /KWh	par rapport à l'électricité
Chauffage électrique en France alimenté par le parc électrique national*	180 g	
Gaz naturel*	195 g	+8 %
Fuel domestique*	310 g	+2 %

\*Hypothèses : rendement chauffage électrique = 1, rendement chaudière gaz 0,95, rendement chaudière fuel, 0,85.

Bref dans une France autarcique en électricité, un gain d'émissions de CO<sub>2</sub>, certes, mais modeste.

Mais qu'en est-il aujourd'hui alors que l'Europe est passée par là avec son marché intérieur de l'électricité ?

L'électricité consommée par le chauffage domestique en France n'est plus seulement française : elle est européenne. A chaque instant le gestionnaire du réseau se procure sur le marché européen le kWh le moins cher disponible. L'ADEME et RTE, le gestionnaire du réseau électrique français, ont calculé les conséquences de cette ouverture du marché sur le contenu en CO<sub>2</sub> du kWh de chauffage électrique. C'est l'objet du tableau 2

**Tableau 2. Comparaison des émissions de CO<sub>2</sub> de différents modes de chauffage en France dans le cadre du marché européen de l'électricité.**

Mode de chauffage	Émissions de CO <sub>2</sub> /KWh	par rapport à l'électricité
Chauffage électrique en France alimenté par le parc européen	500 à 600 g	1
Gaz naturel	195 g	- 60 % à 67 %
Fuel domestique	310 g	-38 % à - 48 %

Il montre que le chauffage par effet joule devient une catastrophe du point de vue des émissions de CO<sub>2</sub>. Deux fois et demi à trois fois pire que si on avait installé des chaudières à gaz plutôt que des convecteurs dans nos maisons !

L'installation de pompes à chaleur (PAC) permet certes une amélioration des bilans CO<sub>2</sub>. Mais il faut atteindre un coefficient de performance moyen sur l'année de ces pompes d'un facteur 3 pour rattraper les performances d'un chauffage au gaz, ce qui n'est pas le cas des PAC air-air les plus vendues aujourd'hui...