

# Politiques nucléaires à l'horizon 2050 et effet de serre : Que disent les scénarios mondiaux et nationaux ?

Rédaction de Global Chance

## *Le point de vue de l'environnement*

*On nous répète inlassablement qu'entre nucléaire et effet de serre il va falloir choisir ! Certes le nucléaire ne produit pas d'émissions significatives de CO<sub>2</sub>, mais est-il à la hauteur du défi climatique à relever, au monde et dans notre pays ?*

La relance du nucléaire au niveau mondial est souvent présentée comme l'alternative énergétique la plus réaliste à court et moyen terme (d'ici 2050), voire unique, au renforcement très rapide des émissions de CO<sub>2</sub> mondiales responsables du changement climatique. Depuis la canicule, son développement est également présenté comme une solution d'adaptation adéquate pour lutter contre les conséquences du réchauffement (climatisation, chauffage, etc).

L'objectif de ce papier est de préciser les enjeux et les risques associés à une relance plus ou moins importante du nucléaire, au monde et en France, pour lutter contre le renforcement de l'effet de serre.

Il existe de nombreux scénarios énergétiques mondiaux et français qui permettent de confronter des stratégies diversifiées de recours à l'énergie nucléaire dans les 50 ans qui viennent à l'objectif de lutte contre le renforcement de l'effet de serre.

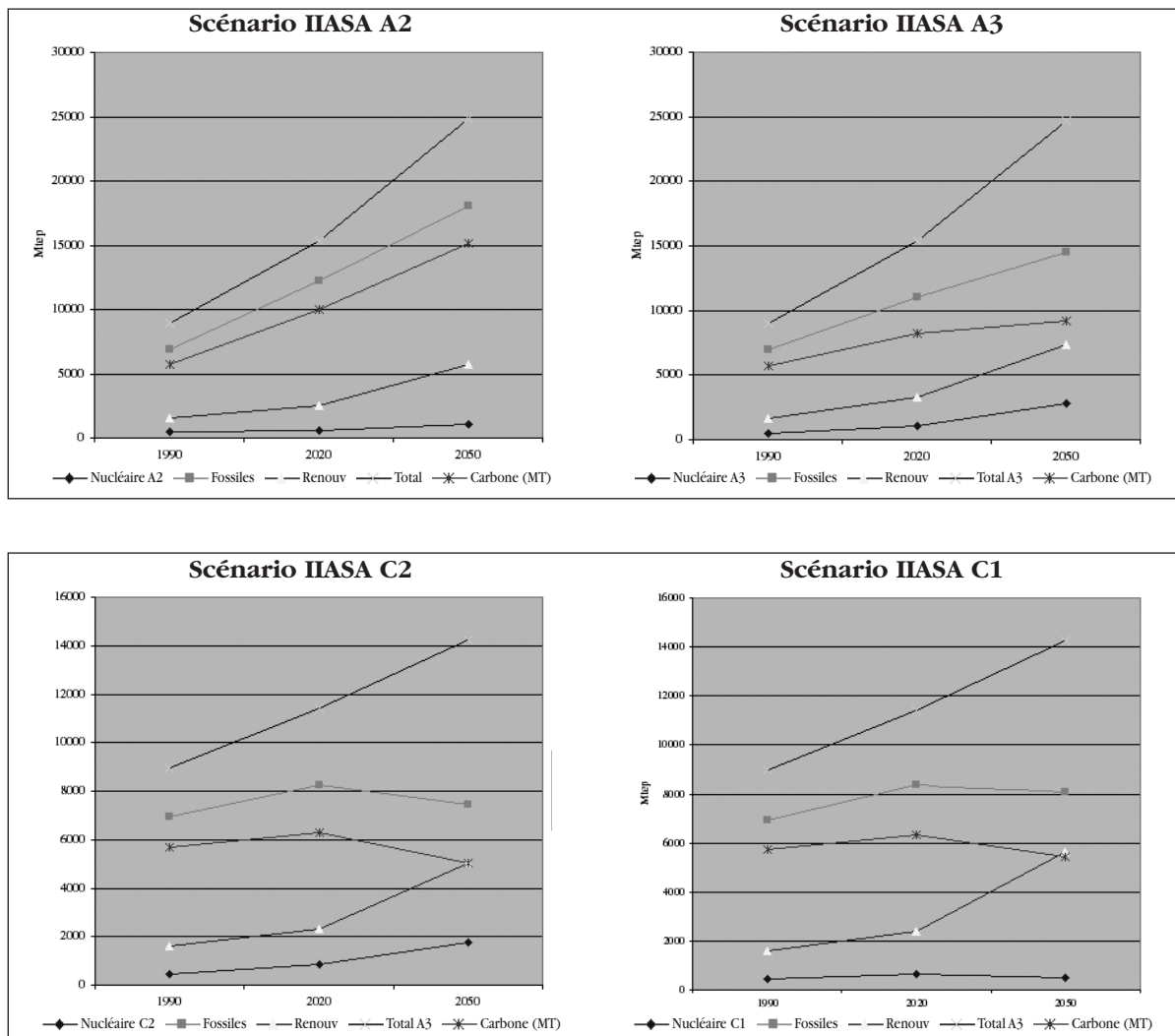
On fera l'hypothèse, dans la suite de cette étude :

- que l'énergie nucléaire, comme les énergies renouvelables, ne produit pas de gaz à effet de serre. Ce n'est évidemment qu'une approximation mais qui respecte les ordres de grandeur qui sont nécessaires à notre étude,
- que les filières nucléaires actuelles resteront très majoritaires dans le bilan en 2050. En effet les initiatives récentes en faveur du lancement d'un EPR, réacteur « évolutionnaire » se fondent sur l'affirmation que des technologies révolutionnaires n'apparaîtront pas sur le marché avant une quarantaine d'années<sup>1</sup> : elles n'auront donc pas d'impact quantitatif significatif sur les bilans mondiaux avant 2050.

## **Les scénarios mondiaux.**

On dispose d'une part d'un scénario prévisionnel de l'AIE dont l'horizon n'est que de 2030 et qui se veut traduire la prolongation des politiques actuelles des différentes régions du monde et de nombreux scénarios prospectifs à l'horizon 2050 qui mettent en scène des images contrastées de politiques énergétiques : plus ou moins grands efforts de maîtrise de l'énergie, recours plus ou moins important au nucléaire, aux renouvelables et aux énergies fossiles. En particulier l'IIASA pour le compte du Conseil mondial de l'énergie et l'IPPC ont établi des images régionalisées de ce type à l'horizon 2050.

Pour cerner les conséquences en termes d'effet de serre de politiques très contrastées, nous avons choisi d'analyser les scénarios de l'IIASA. Comme notre propos est de jauger l'importance des politiques nucléaires décrites en termes d'effet de serre nous avons retenu 4 scénarios parmi les 6 présentés par l'IIASA. Deux à forte consommation d'énergie mondiale, et deux à plus faible consommation, mais avec des participations très contrastées de nucléaire aux bilans énergétiques : scénarios A2 (forte consommation, faible nucléaire) et A3 (forte consommation, fort nucléaire), C1 (consommation modérée, faible recours au nucléaire), et C2 (consommation modérée, fort recours au nucléaire). Le scénario AIE quant à lui se caractérise par une stagnation puis un déclin du nucléaire jusqu'en 2030 où il ne représente plus que 5 % de la production mondiale d'énergie contre 7 % en 2000. Les graphiques ci-dessous illustrent les évolutions des approvisionnements primaires dans les 4 scénarios précédemment cités.



Le scénario à plus faibles émissions de CO<sub>2</sub> en 2050 est le scénario C2 qui cumule des économies d'énergie importantes par rapport aux scénarios A « fil de l'eau » (10 350 Mtep) un recours massif aux renouvelables (5 000 Mtep) et important au nucléaire (1 770 Mtep). Il conduit à des émissions de 5 000 Mt de carbone en 2050, encore trop élevées puisqu'on admet que la biosphère est capable d'une absorption annuelle de carbone de l'ordre de 3 à 3,5 Gtonnes. Il est suivi du scénario C1 qui, pour la même demande, laisse stagner le nucléaire au niveau de 2000 et émet 400 Mt de carbone de plus (8 %).

Les scénarios A les plus dispendieux conduisent tous deux à des émissions très au dessus des précédents, respectivement 15 200 et 9 200 Mtonnes de carbone en 2050. Le scénario A3, malgré un recours massif aux renouvelables (7 300 Mtep) et une très forte relance du nucléaire (2 800 Mtep en 2050 contre 675 en 2000) émet près du double de carbone que le scénario C1 à consommation modérée, pourtant caractérisé par une stagnation du nucléaire sur toute la période, autour de 600 Mtep.

La maîtrise de l'énergie apparaît donc bien comme la marge de manoeuvre prépondérante de lutte contre le changement climatique.

Pour mieux apprécier l'importance accordée par ces scénarios au nucléaire dans la lutte contre le réchauffement du climat on peut calculer les émissions supplémentaires qu'auraient entraîné la substitution du nucléaire proposé par des énergies fossiles. Pour faire cet exercice on a remplacé le nucléaire par un mix de charbon et de gaz<sup>2</sup> au prorata des consommations de ces énergies déjà prises en compte dans chaque scénario. Dans le scénario A2 par exemple il faut substituer 4 200 TWh d'électricité nucléaire par de l'électricité produite au charbon (rendement de 35 %) et au gaz (rendement de 55 %) dans les proportions de 55 % et 45 %<sup>3</sup>, soit 2 300 TWh d'électricité ex charbon et 2 100 ex gaz, 657 Mtep de charbon et 380 de gaz naturel, soit encore 980 Mt de carbone. Dans le scénario A2 le recours au nucléaire retenu permet donc d'éviter en 2050 l'émission supplémentaire de 980 Mt de carbone, soit 6,5 % des émissions de ce scénario. Le tableau suivant rassemble les valeurs d'économie d'émission de carbone réalisées en 2050 par le nucléaire dans les différents scénarios.

### Nucléaire et émissions de CO2 des différents scénarios en 2050

Scénario MtC	Emissions évitées Par le nucléaire en 2050	Emissions en 2050 du scénario	% d'émissions évitées par le recours au nucléaire
A2 (nuc 1090 Mtep)	980	15100	6,5%
A3 (nuc 2820 Mtep)	1485	9240	16%
C1 (nuc 520 Mtep)	348	5420	6,4%
C2 (nuc 1770 Mtep)	1215	5000	24%

Ce tableau montre qu'il faut atteindre des niveaux de relance nucléaire très importants dans les scénarios « au fil de l'eau » pour commencer à agir de façon tant soit peu significative sur les émissions de GES au niveau d'une quinzaine de %. Pour y parvenir, il ne suffit pas d'une relance dans les pays de l'OCDE. Dans le scénario A3 en 2050, on trouve la répartition régionale suivante des approvisionnements nucléaires :

#### Développement régional du nucléaire dans le scénario A3

Scénario A3 Mtep	1990	2050	Facteur multiplicatif
Pays en développement	25	1000	40
Dont			
Chine		480	
Inde		200	
Afrique		160	
Pays développés	425	1820	4,5
Dont			
Europe	166	975	
Amérique du Nord	153	420	
Japon	45	180	
Pays en transition	60	230	4

Une très forte relance en Europe, deux fois plus modeste en Amérique du Nord et de très forts taux de pénétration en Chine et en Inde, une accession au nucléaire de l'Afrique à un niveau très conséquent, et par contre, une Amérique latine et un Moyen Orient laissés complètement en dehors de ce développement massif, voilà l'image que nous propose le scénario A3, le plus optimiste pour le nucléaire. Dans le scénario C2 à consommation modérée, le potentiel de réduction de GES est plus important (20 %) pour un nucléaire qui ne représente pourtant que 60 % de celui de A3.

#### Développement régional du nucléaire dans le scénario C2

Scénario C2 Mtep	1990	2050	Facteur multiplicatif
Pays en développement	25	700	28
Dont			
Chine		290	
Inde		135	
Afrique		25	
Pays développés	425	1070	2,5
Dont			
Europe	166	530	
Amérique du Nord	153	370	
Japon	45	90	
Pays en transition	60	90	1,5

Au delà de l'image instantanée que nous livrent ces scénarios en 2050 il est intéressant de juger des politiques en cause en analysant les quantités de carbone et de déchets nucléaires accumulés dans les différents scénarios entre 1990 et 2050. Les problèmes d'environnement rencontrés sont en effet des problèmes de cumul, cumul de CO2 dont la durée de vie dans l'atmosphère excède 100 ans et déchets nucléaires à très longue durée de vie.

C'est l'objet du tableau ci dessous :

### Cumul 1990-2050 du CO2 et des déchets nucléaires des scénarios IIASA

Scénarios	Cumul Nucléaire (1990-2050) Gtep	Cumul CO2 du scénario Gtonnes	Economies cumulées de CO2 par le nucléaire Gt	Economies de CO2 en %	Cumul déchets nucléaires <sup>4</sup> tonnes	Croissance du cumul
A2	40,4	600	36 (2,5 ans)	6%	4000	+880%
A3	79,7	470	41,9 (3ans)*	8,9%	7890	+1750%
C1	34,6	357	23,1(4,5 ans)	6,5%	3700	+820%
C2	58,7	350	40,3 (8ans)	11,5 %	5800	+1280 %

\* années d'émissions 2050

Les différentes stratégies nucléaires affichées conduisent donc à des économies de CO2 cumulées qui se situent entre 6 et 11,5 % sur la période, au prix d'une multiplication de la masse de déchets à haute activité et à très longue durée de vie (plutonium et actinide mineurs) d'un facteur 9 à 18 environ par rapport à 1990.

Ces économies de CO2 cumulées restent très marginales par rapport à celles réalisées par l'adoption de stratégies de maîtrise de l'énergie qui se traduisent par des économies de CO2 5 à 10 fois supérieures comme le montre la deuxième colonne de ce tableau : il y a près d'un facteur deux entre les émissions de C2 et A2.

Voilà donc rapidement dressés les enjeux et l'ampleur des risques associés à une relance plus ou moins massive du nucléaire mondial pour lutter contre l'augmentation des émissions de GES.

On peut compléter cette analyse par des considérations géopolitiques en examinant la localisation des implantations nucléaires qu'imposeraient les stratégies proposées. Par exemple dans le scénario A3 on constate une très large dispersion géographique en 2050 : alors que le nucléaire civil reste confiné à moins d'une trentaine de pays en 2000, il s'implante dans plus d'une centaine de pays dans A3 en 2050 avec les conséquences que cela peut comporter en termes de risques, d'accidents, de prolifération et de gestion des déchets.

### Les scénarios français.

On dispose aujourd'hui de trois scénarios pour la France en 2050 : les deux scénarios établis pour l'étude économique prospective de la filière nucléaire de JM Charpin, B Dessus et R Pellat (CDP) <sup>5</sup> et le scénario de l'association Négawatt <sup>6</sup>. Ils décrivent des situations énergétiques très contrastées résumées dans le tableau suivant :

#### Consommation finale d'énergie en 2050 (Mtep)

Mtep 2050	2000	Dont élec	2050	Dont elec
Scénario CDP « H »	158	34 (395 TWh)	234	62 (720 TWh)
Scénario CDP « B »	158	34	161	46 (535 TWh)
Scénario Négawatt	158	34	120	30 (350 TWh)

Les consommations primaires d'énergies fossiles hors électricité et les émissions de CO2 correspondantes font l'objet du tableau ci dessous :

#### Consommations d'énergies fossiles et émissions de CO2 en 2050 hors électricité

2050	2050 (Mtep)	Emissions (MtC)
Scénario CDP « H »	165	125
Scénario CDP « B »	105	80
Scénario Négawatt	34	29

Il existe aussi une ébauche de scénario de Henri Prévot <sup>7</sup> dont l'horizon est plus proche (2030) : il se fixe de répondre au défi climatique en divisant par trois les émissions de CO<sub>2</sub> à cette époque, sans plan très explicite de maîtrise de l'énergie mais avec une très forte pénétration de l'énergie électrique nucléaire dans les secteurs de l'habitat et des transports comme le montre le tableau ci dessous :

Scénario Prévot	2000	Dont élec	2030	Dont élec
Mtep	158	34 (395 TWh)	157	69 (800 TWh)
Emissions de CO <sub>2</sub> (MtC)	105	9	38	5

Dans l'étude CDP, il existe des scénarios très diversifiés pour la production d'électricité, depuis le renouvellement complet du parc nucléaire pour continuer à fournir de l'ordre de 70 % des besoins électriques en 2050 jusqu'à son abandon à la fin de sa durée de vie au profit de centrales à gaz naturel. Le tableau ci dessous donne les contributions du nucléaire et des fossiles au bilan électrique en 2050 des 6 principaux scénarios CDP et du scénario Négawatt, les émissions correspondantes et les quantités de déchets nucléaires produites. On y a ajouté celles du scénario Prévot en faisant l'hypothèse, en absence d'indication de l'auteur, d'une stabilisation de la consommation d'énergie en 2050 au niveau atteint en 2030.

#### Electricité dans les bilans environnementaux 2050 des scénarios CDP Négawatt et Prévot

2050	Nucléaire TWh	Electricité Fossiles (Mtep)	Déchets nucléaires*	Emissions de CO <sub>2</sub> (MtC)
H1 (0 nuc en 2050)	0	106	0	62
H2 (nuc en base)	350	56	9 tonnes	30
H3 (70 % de nuc)	556	27	14,5	3
B2 (50 % de nuc)	246	35	6,4	19
B3 (70 % de nuc)	330	22	8,6	14
B4 (0 nuc en 2050)	0	75	0	46
Négawatt	0	14	0	9
Scénario Prévot	800	8	21	5

\* sur la base de 26 kg de plutonium + actinides mineurs par TWh

Les émissions totales de CO<sub>2</sub> des différents scénarios sont donc les suivantes :

#### Part de la production d'électricité dans les émissions de CO<sub>2</sub> en 2050 des différents scénarios

2050 MtC	Hors Elec	Elec	Total	Gain Emissions de CO <sub>2</sub> **
H1 (0 nuc en 2050)	125	70	195	0
H2 (nuc en base)	125	38	163	32 (16 %)
H3 (70 % de nuc)	125	19	144	51 (26 %)
B2 (50 % de nuc)	80	24	104	26 (20 %)
B3 (70 % de nuc)	80	15	95	15 (27 %)
B4 (0 nuc en 2050)	80	50	130	0

\*\* par rapport au scénario équivalent avec sortie du nucléaire

Comme le montre la dernière colonne du tableau ci dessus, les stratégies de maintien de nucléaire à un niveau élevé permettent d'économiser de 26 à 27 % de CO<sub>2</sub> en 2050 par rapport aux scénarios équivalents mais avec sortie du nucléaire, au prix d'une production de 6 à 15 tonnes de déchets annuels.

A remarquer cependant que le scénario B4 de consommation modérée d'électricité et sortie du nucléaire produit en 2050 moins de CO<sub>2</sub> que le scénario haute consommation H3 avec 70 % de nucléaire (130 MtC contre 144).

Dans les deux scénarios Négawatt et Prévot, les émissions de CO<sub>2</sub> sont égales et beaucoup plus faibles que dans les scénarios précédents. Cette réduction est essentiellement obtenue par contraction de la demande d'énergie dans le scénario Négawatt, par le recours aux biocarburants (20Mtep) et un quasi doublement du recours au nucléaire dans le scénario Prévot, avec la conséquence d'une production de 21 tonnes de déchets contre zéro dans le scénario Négawatt.

Les conséquences cumulées des diverses stratégies proposées d'ici 2050 sont données dans le tableau ci-dessous :

### Cumuls de CO<sub>2</sub> et de déchets nucléaires sur la période 2000-2050

Scénarios	Total CO <sub>2</sub> cumulé 2000-2050 (MtC)	Part de l'électricité dans le cumul de CO <sub>2</sub> (MtC)	Cumul de déchets nucléaires 2000-2050* (t)
H1 (0 nuc en 2050)	8000	1975	365
H2 (nuc en base)	7200	1175	473
H3 (70 % de nuc)	6725	700	594
B2 (50 % de nuc)	5725	825	411
B3 (70 % de nuc)	5500	600	459
B4 (0 nuc en 2050)	6375	1475	329
Négawatt	3600	?	< 300
Scénario Prévot**	2400	330	903

\* Chiffres tirés du rapport CDP

\*\* avec l'hypothèse d'une stabilisation de la consommation d'énergie en 2050 au niveau atteint en 2030

Dans les scénarios haute consommation, la stratégie la plus volontariste pour le nucléaire permet d'éviter l'émission cumulée de 1 275 Mtonnes de carbone, 16 % par rapport au scénario de sortie progressive du nucléaire à la fin de vie des réacteurs. Dans les scénarios bas, l'écart est de 875 Mtonnes, soit 15,6 %. Cette économie d'émission s'effectue au prix d'une augmentation de 62 % de la masse de déchets nucléaires dans les scénarios hauts et de 40 % dans les scénarios basse consommation.

Dans tous les cas et quelle que soit la stratégie nucléaire choisie, les scénarios à consommation d'énergie modérée présentent des cumuls d'émission et de déchets nucléaires plus faibles que ceux des scénarios haute consommation à l'exception notable du scénario Prévot dans lequel le stock de déchets dépasse nettement tous les autres.

Le scénario Négawatt permet à la fois de réduire très nettement le bilan carbone cumulé (d'un facteur 2,2 par rapport à H1) tout en limitant à une valeur non précisée (la durée de vie des centrales nucléaires retenue n'est pas connue) mais certainement < 300 tonnes le cumul de déchets. Le scénario Prévot, s'il est prolongé jusqu'en 2050, permet une réduction encore plus sensible du bilan carbone cumulé que le scénario Négawatt<sup>8</sup> par rapport au scénario B4 de sortie du nucléaire (un facteur 3) qui affiche la même consommation finale mais produit un stock trois fois plus important de déchets nucléaires en 2050. A noter cependant, comme le montre la colonne 2 du tableau ci-dessus concernant les émissions cumulées de CO<sub>2</sub> dues à l'électricité, que la contribution du nucléaire du scénario Prévot permet d'éviter l'émission de 1 145 Mt C par rapport au scénario B4 (à même consommation finale, mais avec sortie du nucléaire) soit 18 % des émissions de ce scénario (6 375 MtC).

## Quelques éléments de conclusion

Nous n'avons envisagé ici les conséquences en termes d'émissions de CO<sub>2</sub> et de déchets que pour des scénarios bien ou assez bien explicités aussi bien pour la France que pour le monde sur la base des technologies actuelles. Il en existe bien entendu d'autres. Parmi eux certains comme ceux de l'IPCC conduisent à des résultats du même ordre que ceux que nous venons d'exposer.

D'autres sont beaucoup plus volontaristes vis à vis du nucléaire comme celui de P. Bauquis<sup>9</sup>. Ils s'appuient généralement sur la diffusion très rapide de technologies nucléaires qui n'existent encore que sur le papier et dont aussi bien les industriels que l'administration française, pourtant favorables à une relance du nucléaire, considèrent qu'elles n'émergeront sur le marché que vers 2040. Leurs projections sont largement irréalistes et leurs conséquences largement inconnues puisque les caractéristiques de ces nouvelles filières nucléaires sont encore très imprécises (rendements, types et quantités de combustibles et de déchets). C'est ainsi par exemple que le scénario de P. Bauquis, destiné à une substitution des carburants pétroliers supposerait, pour produire les carburants de substitution, la construction à partir d'aujourd'hui et jusqu'en 2050 de 3 à 4 centrales de 300 MW par semaine d'une nouvelle filière nucléaire non actuellement développée et pour le seul besoin des transports mondiaux.

Si nous en restons aux scénarios considérés comme réalistes par les tenants même d'une relance du nucléaire, les éléments suivants peuvent être apportés au débat :

- 1 - Aussi bien en France que pour le monde, les stratégies plus ou moins volontaristes de relance du nucléaire ont des conséquences sur les émissions cumulées de CO<sub>2</sub> sur la période 2000-2050 qui restent relativement modestes : 6 à 11 % pour le monde, 7 à 16 % pour la France. Même dans le scénario Prévost, le programme très ambitieux de relance du nucléaire ne permet d'éviter que 1 145 Mtonnes de carbone par rapport au scénario de sortie du nucléaire B4 soit 18 %. Cette donnée relativise de façon significative le discours habituel " nucléaire ou effet de serre " puisque restent à traiter 82 à 94 % du problème posé.
- 2 - Les conséquences de politiques de relance mondiale du nucléaire changent significativement la nature et l'ampleur des risques qui lui sont spécifiques : risques d'accidents, dissémination et risques de prolifération, cumul des déchets (une multiplication par 9 à 18 selon les scénarios). C'est certes moins le cas en France du fait de l'inertie du parc actuel ; néanmoins, par exemple, les stratégies de relance les plus volontaristes conduisent à une augmentation de 40 à 300 % des déchets nucléaires en 2050.

Dans ce contexte, l'intérêt pour la France et pour la communauté internationale d'une relance à court terme du nucléaire sur la base des technologies actuelles dans le but de lutter contre le renforcement des émissions paraît discutable. Cette stratégie, souvent présentée comme incontournable, mériterait d'être sérieusement confrontée à des stratégies alternatives d'économie d'énergie et de développement des énergies renouvelables qui ne présentent pas ou peu de risques environnementaux, comme en Allemagne ou au Royaume Uni. ■

- 1 - *A noter que l'affirmation d'un délai aussi long pour l'apparition de nouvelles filières est bien utile pour justifier la nécessité d'une relance à travers l'EPR supposé combler le « trou » avant l'émergence de ces technologies nouvelles.*
- 2 - *Le nucléaire permettant de produire de l'électricité a été systématiquement remplacé par des centrales électriques à charbon ou à gaz.*
- 3 - *Dans ce scénario on recourt en effet déjà à 4 400 Mtep de charbon, et 3 300 Mtep de gaz, soit respectivement à 55 et 45 % du total de ces deux ressources.*
- 4 - *Plutonium et actinides mineurs sur la base de 26 kg par TWh.*
- 5 - *Etude économique prospective de la filière électrique nucléaire, rapport au premier ministre, la documentation française Sept 2000.*
- 6 - *Scénario Négawatt pour un avenir sobre efficace et renouvelable, Les Cahiers de Global Chance n° 17, septembre 2003.*
- 7 - *Quelles mesures prendre dès aujourd'hui pour diminuer profondément les émissions de GES liées à l'énergie, Note de H Prévost, 3 octobre 2003.*
- 8 - *La décroissance envisagée d'ici 2030 est en effet nettement plus rapide dans Prévost (38 Mt) que dans Négawatt (80 Mt).*
- 9 - *Un point de vue sur les besoins et les approvisionnements en énergie à l'horizon 2050, Pierre René Bauquis, à paraître.*