



La conjoncture, pour le nucléaire

Des réacteurs nucléaires pour les pays en développement ?

Les réacteurs rapides. Pourquoi il ne faut pas se faire un monde du sodium

L'uranium appauvri : une manne, pas un déchet



**À CHAQUE ÉNERGIE
SA PLACE !**



UARGA

Union des Associations des anciens et Retraités du Groupe AREVA

ENERGIE ET MEDIAS N° 26

Juin 2008

A chaque énergie sa place.

Mais n'ayons pas peur de l'énergie nucléaire !

SOMMAIRE

1. La conjoncture, pour le nucléaire.....	3
2. Des réacteurs nucléaires pour les pays en développement ?.....	4
2.1. Pourquoi des pays en développement envisagent-ils l'énergie nucléaire ?.....	5
2.2. Le droit de tous les pays à l'énergie nucléaire ?.....	5
2.3. La préparation représente un énorme effort	5
2.4. Qui peut former tout ce personnel ?.....	6
2.5. Faut-il que chaque pays candidat au nucléaire fasse tout cet immense effort ?.....	7
2.6. N'y a-t-il pas de risque de prolifération ?.....	7
2.6.1. Contrôles de l'AIEA.....	7
2.6.2. Quelles matières pour une bombe ?	8
2.6.3. Réacteur.....	8
2.6.4. Combustible.....	9
2.6.5. Le TNP permet les activités nucléaires civiles	9
2.6.6. Banques de combustible, centres internationaux d'enrichissement	10
2.6.7. Précautions supplémentaires, à long terme	10
2.7. Conclusion.....	11
3. Commentaires sur des sujets divers.....	12
3.1. Les réacteurs rapides. Pourquoi il ne faut pas se faire un monde du sodium.....	12
3.2. L'uranium appauvri est une manne à bien conserver, pas un déchet	13
3.2.1. Qu'est-ce que l'uranium appauvri ?.....	13
3.2.2. L'hexafluorure d'uranium, UF ₆	14
3.2.3. Une manne, pourquoi ?	14

Ce bulletin est l'œuvre collective des retraités de l'UARGA, l'Union des Associations de Retraités du Groupe Areva. Ils souhaitent que la masse de connaissances et l'expérience qu'ils ont accumulées au cours de leur carrière sur des sujets complexes, réalités scientifiques et technologiques, puissent servir à leurs collègues retraités, et aussi à leurs concitoyens, en particulier à ceux qui sont chargés de l'information du public.

Il peut être consulté sur le site de l'UARGA ainsi que les précédents numéros.

Site de l'UARGA : <http://www.uarga.org>

1. La conjoncture, pour le nucléaire

La nouvelle majeure pour le nucléaire est sans doute que les premières commandes de réacteurs aux Etats-Unis depuis trente ans viennent d'être passées. La première a été annoncée début avril (*AFP* le 8 avril), la deuxième fin mai (*AFP* le 27 mai). Elles concernent des réacteurs AP1000 de Westinghouse, maintenant filiale du Japonais Toshiba, deux commandes de deux réacteurs chacun. L'AP1000 est un réacteur de 1100 mégawatts¹, de troisième génération comme l'EPR² d'Areva NP. Dans ce pays l'AP1000 a sur l'EPR un avantage et un handicap. *L'avantage* : il a déjà été agréé par l'Autorité de sûreté, la NRC³, en tant que modèle de réacteur. Le dossier de demande d'agrément de l'EPR, qu'il a fallu transposer pour les Etats-Unis⁴, n'a été déposé que fin 2007, et l'Autorité de sûreté, surchargée, prend très longtemps pour étudier de telles demandes. *Le handicap* de l'AP1000 sur l'EPR : Westinghouse n'a pas construit de réacteurs depuis de très nombreuses années, alors que deux EPR sont en cours de construction. Pour la première commande, dans l'état de Géorgie, *l'entrée en service de la première tranche est espérée pour 2016 et la seconde pour 2017, selon le groupe Shaw, actionnaire à 20 % de Westinghouse.* Pour la deuxième commande, en Caroline du Sud, *Westinghouse ne précise pas la date projetée d'entrée en service.* Pour toutes les deux il reste des autorisations administratives à obtenir. Qu'en est-il de l'EPR ? L'*AFP* le 23 mai écrit : *EDF... vient tout juste de dépêcher aux Etats-Unis une escouade de cadres chargés de mener à bien le projet d'Unistar consistant à construire d'ici 2015 une centrale EPR ... dans le Maryland. Luttant pour s'arroger des milliards de dollars d'aides gouvernementales, 19 compagnies électriques ont posé leur candidature depuis 2007 pour la construction de réacteurs nucléaires, et d'autres ne devraient pas tarder à suivre. D'après Le Point du 17 avril, trente projets de réacteurs sont en gestation dans le pays. Parmi eux, sept reposent sur l'EPR proposé par Areva.*

L'autre évènement se déroule au Royaume-Uni. Juste avant la fin de son mandat, le gouvernement de Tony Blair a pris la décision de permettre à des investisseurs de construire dans le pays des réacteurs nucléaires. Le nombre n'est pas fixé à l'avance. De même qu'un certain nombre d'autres « électriciens », EDF souhaite faire partie de ces investisseurs. On lit dans la presse qu'elle espère construire quatre EPR au Royaume-Uni, et a entrepris plusieurs démarches pour disposer de sites pour cela : offre de rachat de British Energy, propriétaire des très vieux réacteurs encore en service dans le pays (mais il y a d'autres candidats), achat réussi de terrains à la périphérie de deux des sites de tels réacteurs (*Platt's Nucleonics Week* du 15 mai).

[Retour au sommaire](#)

Citons aussi l'Italie : après un moratoire de trente ans, le nouveau gouvernement annonce qu'il est indispensable de repartir dans le nucléaire, et la population y est favorable. Citons par exemple *Les Echos* du 29 mai : *Enel et Edison sont prêts à participer à la relance du nucléaire en Italie. Les deux grands producteurs italiens d'électricité l'ont fait savoir en*

¹ 1100 mégawatts égalent 1100000 kilowatts

² EPR veut dire European Pressurised water Reactor, réacteur de 3^{ème} génération de conception franco-allemande. Aux Etats-Unis, on l'appelle Evolutionary Pressurised water Reactor. Evolutionary, évolutionnaire, est un néologisme qui veut dire qu'il ne correspond pas à une révolution des techniques avec les risques que cela comporte, mais simplement à une évolution par rapport aux technologies déjà connues.

³ NRC : Nuclear Regulatory Commission

⁴ Entre autre, le réseau aux Etats-Unis est à une fréquence de 60 Hertz au lieu de 50.

accueillant avec faveur les déclarations de Claudio Scajola, ministre du développement économique de Silvio Berlusconi. Celui-ci a affirmé récemment que, dans cinq ans, la première pierre d'un nouvel ensemble de centrales serait posée.

La Chine a donné un coup d'accélérateur à son programme nucléaire civil et pourrait disposer d'ici 2020 d'une capacité de production d'électricité supérieure de 50 % à l'objectif initial, rapporte ... un haut responsable cité par l'agence Chine nouvelle. (Reuters le 8 mars, qui cite le chiffre probable de 60 gigawatts⁵ en 2020 au lieu de 40, suivant le vice-ministre de la Commission nationale pour le développement et la réforme.)

Un mot sur l'Inde : les communistes n'ont pas relâché leur pression sur le gouvernement. Ils font partie de la coalition qui le soutient, mais étaient opposés au projet de pacte avec les Etats-Unis, qui prévoit de traiter le pays comme s'il avait signé le TNP⁶ à condition qu'il ouvre ses sites nucléaires civils aux inspections de l'AIEA⁷. Il est maintenant peu probable que ce pacte soit signé avant les élections américaines de novembre.

En Afrique du Sud, après l'appel d'offres en cours pour 3000 à 3500 mégawatts pour lequel Areva propose deux EPR, un programme de 20000 mégawatts est envisagé d'ici 2025.

Il n'est pas surprenant que, avec un baril de pétrole au-delà de 130 dollars, peu de pays restent totalement insensibles au nucléaire. Même les pays qui n'ont acquis jusqu'ici aucune expérience dans ce domaine se mettent à envisager de se lancer, et les pays expérimentés leur proposent de les aider. C'est ce qui nous a amenés à choisir ce sujet comme thème central de ce numéro d'*Energies et Médias*, au chapitre 2. Un exemple fort intéressant nous est donné avec l'accord de coopération proposé en janvier par Total, Suez et Areva aux Emirats Arabes Unis, pour, à terme, y financer deux EPR, les construire, puis les faire fonctionner⁸.

2. Des réacteurs nucléaires pour les pays en développement ?

De nombreux accords ont été passés dans le domaine du nucléaire civil entre des pays ayant une industrie nucléaire et d'autres, qui ne nous sembleraient pas du tout prêts à se lancer ! Lisant cela, on se demande : n'est-ce pas une folie ?! Des questions viennent à l'esprit, telles que celles-ci :

- Ces pays auront-ils la compétence pour faire fonctionner un réacteur sans risquer un Tchernobyl ?
- Ne veulent-ils pas, en fait, préparer en cachette une bombe atomique ?!

C'est ce sujet que nous allons développer dans ce numéro d'*Energies et Médias*.

[Retour au sommaire](#)

⁵ 60 gigawatts : 60 millions de kilowatts

⁶ Traité de Non Prolifération des armes atomiques

⁷ Agence Internationale de l'Energie Atomique

⁸ *Libération* le 15 janvier écrivait : « Cela fait deux ans que les autorités émiriennes nous ont demandé de réfléchir à un emplacement pour construire le site », raconte une source proche de Suez.

2.1. Pourquoi des pays en développement envisagent-ils l'énergie nucléaire ?

Voici déjà trois raisons claires :

- leur besoin d'électricité et, pour beaucoup d'entre eux, le besoin d'énergie pour dessaler de l'eau de mer ;
- l'inquiétude engendrée dans tous les pays par le renchérissement du pétrole et du gaz - qui va continuer avec leur raréfaction - et même, à un moindre degré, par celui du charbon ; tandis que le bon comportement des réacteurs nucléaires et la stabilité de leur coût de production d'électricité inspirent de plus en plus confiance ;
- à cela s'ajoute peut-être une frustration des gens, de voir que, jusqu'ici – mis à part dans l'ancien bloc soviétique -, le nucléaire ne semble destiné qu'aux pays riches.

2.2. Le droit de tous les pays à l'énergie nucléaire ?

Certains responsables politiques, en particulier le président Sarkozy, considèrent que cette frustration de se sentir considérés comme des gens inférieurs est un élément clef qui conduit vers le fondamentalisme et la violence ! La conclusion serait qu'il faut au contraire *donner à tous les pays le droit à l'énergie nucléaire, pourvu qu'ils s'y soient suffisamment préparés* ; et (à supposer qu'une étude de faisabilité en ait confirmé l'utilité⁹) cette préparation prendra le temps qu'il faudra, s'ils arrivent à faire l'effort nécessaire.

Un collègue exprime les choses sous un autre angle :

« Ce n'est pas en obligeant [les pays pauvres] à n'utiliser qu'une électricité trois ou quatre fois plus chère que la nôtre qu'on les aidera à sortir de leur indigence, et ... ce n'est pas non plus en les incitant à brûler du charbon et de la forêt qu'on assainira la planète pour nos fameuses générations futures. »

[Retour au sommaire](#)

2.3. La préparation représente un énorme effort

N'essayons pas de décrire de façon exhaustive ce que représente la formation à acquérir. Contentons-nous de rappeler l'étendue du sujet :

- Le nucléaire civil comprend :
 - la physique des rayonnements, la compréhension de leurs effets sur le corps et la radioprotection,
 - les réacteurs nucléaires,
 - le combustible pour les faire fonctionner,
 - des déchets.

⁹ Pour beaucoup de ces pays, il y aura une difficulté : un réacteur nucléaire tel qu'en propose la France risque de fournir une puissance trop concentrée pour leur réseau électrique, qui ne serait pas capable de distribuer l'électricité produite ; l'EPR, avec 1600 mégawatts, et même le réacteur de 1100 mégawatts qu'Areva développe avec le Japonais MHI, Mitsubishi Heavy Industries, réacteur de 3^{ème} génération de même que l'EPR, sont de bien grosses machines ! Pourra-t-on utiliser de tels réacteurs pour une grande partie de leur puissance pour dessaler de l'eau de mer ? Peut-on concevoir une énorme usine de dessalement, qui distribuerait l'eau douce à grande distance par un réseau de tuyauteries comme on distribue le pétrole ? Pourquoi pas ? A vrai dire, les constructeurs de réacteurs sont tout à fait capables de construire des réacteurs de plus faible puissance ; ils n'attendent que la demande du marché. On peut citer, par exemple, le réacteur à haute température étudié par l'Afrique du Sud.

- Il faut non seulement
 - savoir exploiter les installations, mais auparavant :
 - que l'Administration prépare et fasse adopter dans le pays une législation et une réglementation, traitant de l'organisation, des dispositions de sûreté visant à éviter les accidents et à minimiser leurs conséquences, et des dispositions de sécurité visant à empêcher les intrusions, les attaques et les vols ;
 - qu'une Autorité de sûreté tout à fait compétente et complètement indépendante des exploitants des installations soit établie pour servir de gendarme du nucléaire.
- Pour chaque installation, composant ou service, il faut être capable de l'acheter au fournisseur, donc de le spécifier, de lancer des appels d'offres et de choisir la meilleure offre, de le contrôler, de le réceptionner. Il vaut mieux être capable de surveiller le chantier du réacteur, même si on l'achète clef en main.

Pour effectuer tout cela en vue de disposer d'un ou plusieurs réacteurs produisant de l'électricité et/ou de la chaleur, *il faut des centaines de cadres et de techniciens, déjà suffisamment expérimentés*. Et que tout ce monde soit formé de façon appropriée à la *démarche de sûreté* qui conditionne la sûreté du nucléaire.

2.4. Qui peut former tout ce personnel ?

A vrai dire, ce besoin de personnel formé est un point préoccupant pour tous les pays : pour ceux qui ont de larges programmes et de grands besoins, autant que pour ceux qui vont se lancer dans le nucléaire pour la première fois.

Dans les années passées, l'AIEA a organisé des séminaires de formation dans tous ces domaines à l'attention des pays qui n'ont pas l'expérience chez eux. Les enseignants sont des experts internationaux prêtés par les pays membres. Mais les besoins sont devenus si considérables que l'AIEA ne pourra pas, à l'avenir, faire face, même si l'on augmente son budget. D'autres moyens sont en cours de mise en place. La World Nuclear University a été créée en 2003 pour concevoir et préparer ce gigantesque effort. Il s'agit d'un partenariat global où les partenaires fondamentaux sont :

- les organisations internationales de l'industrie nucléaire : la World Nuclear Association (WNA) et l'association mondiale des opérateurs nucléaires (WANO),
- les agences nucléaires internationales, AIEA et Agence de l'Energie Nucléaire de l'OCDE,
- les principaux établissements d'enseignement nucléaire de quelque trente pays.

Heureusement, comme l'image du nucléaire s'améliore et que les perspectives d'avenir semblent favorables, les étudiants choisissent plus volontiers de s'y lancer.

[Retour au sommaire](#)

Pour ces pays qui veulent se lancer dans le nucléaire civil, des accords tels que ceux que propose, par exemple, Areva peuvent avoir un grand intérêt. Le nouveau venu pourra bénéficier sur une longue durée de l'expérience et du soutien du partenaire expérimenté. Celui-ci, par exemple Areva ou EDF, y trouve son avantage, car il saura habituer à ses techniques, à ses raisonnements le personnel du pays nouveau venu. Les chances que la coopération s'étende ultérieurement à des marchés consistants s'en trouveront naturellement augmentées. Toutefois, vous remarquerez que l'Egypte, par exemple, a passé des accords généraux de coopération avec *plusieurs* pays expérimentés : la Russie, la France ; et de même,

le Vietnam avec la France, la Corée du Sud, la Russie, la Chine et, tout récemment, le Japon (*AFP le 15 mai*) ! Un accord général de coopération n'est donc pas, bien sûr, la garantie d'un succès commercial futur.

2.5. Faut-il que chaque pays candidat au nucléaire fasse tout cet immense effort ?

En principe, on dirait oui ; mais, en particulier quand il s'agit de petits pays, tels que les Emirats Arabes Unis, on peut très bien concevoir qu'ils se réunissent pour disposer ensemble des compétences nécessaires. On lit (*Les Echos* du 14 janvier) que *les six monarchies regroupées au sein du Conseil de coopération du Golfe (Arabie saoudite, Bahreïn, EAU, Koweït, Oman, Qatar) ont décidé, en décembre 2006, de se doter d'un programme nucléaire civil commun, avec l'objectif de construire une première centrale avant 2025*. Il faudra que des conventions ayant valeur de traités fixent leurs obligations et leurs droits réciproques.

Maintenant, supposons qu'un pays, sans avoir acquis les compétences sommairement délimitées ci-dessus, désire faire installer chez lui, par exemple, un réacteur nucléaire couplé à une installation de dessalement d'eau de mer. *Peut-on imaginer qu'il confie complètement à des équipes étrangères ou internationales le soin de construire le tout, de l'alimenter en combustible, de le gérer, de reprendre le combustible usé et tous les déchets, et de déconstruire le tout le jour venu ?* L'idée en avait été évoquée par un chef de département de l'AIEA. Il faudrait qu'une Autorité de sûreté ait vraiment autorité sur ces équipes et sur l'administration du pays. Mais quelle autorité de sûreté ? Là aussi, il faudrait des traités. C'est, en tout cas pour le moment, une vision un peu futuriste !

2.6. N'y a-t-il pas de risque de prolifération ?

La prolifération, vous savez qu'on entend par là la multiplication des armes atomiques, que le monde désire empêcher pour ne pas voir s'accroître le risque d'attaque nucléaire.

2.6.1. Contrôles de l'AIEA

A ceux qui craignent que la multiplication des pays nucléaires augmente le risque de prolifération, le *premier point* qu'il faut souligner est que, pour ce qui est de la France et d'Areva, ils ont solennellement déclaré qu'*ils ne feront commerce dans ce domaine qu'avec des pays qui se sont formellement engagés à accepter tous les contrôles de l'AIEA*.

- Cela veut dire que ces pays devront :
- s'être engagés à déclarer toutes leurs installations nucléaires actuelles et futures,
- avoir convenu avec l'AIEA des contrôles et inspections auxquelles ils se soumettent,
- avoir aussi signé et ratifié le « Protocole additionnel » (au Traité de Non Prolifération des armes atomiques, TNP), qui permet à l'AIEA, entre autre, les contrôles inopinés, ainsi que les prélèvements de matières (de sols par exemple) n'importe où sur le territoire, en particulier dans l'environnement.

[Retour au sommaire](#)

Or une installation ne parvient jamais à éviter tout rejet dans l'environnement, il est quasi impossible de tout filtrer ; et il en résulte au moins des traces de contamination dans les

parages. Si faibles soient elles¹⁰, les moyens d'analyse disponibles aujourd'hui permettent de les détecter. Si un inspecteur prélève un échantillon de sol pas trop loin d'une installation nucléaire, même souterraine, dont il connaît ou soupçonne l'existence, et le donne à analyser au laboratoire de l'AIEA, on saura dire si les traces d'uranium sont de l'uranium enrichi, et à quel taux d'enrichissement !

C'est ainsi qu'on a prouvé que l'Irak avait des installations non déclarées d'enrichissement d'uranium. L'échantillon était de la poussière qu'on a eu l'idée de recueillir sur les vêtements des Américains faits prisonniers pendant la première guerre du Golfe, lors de leur libération. Saddam Hussein s'était servi d'eux comme bouclier humain devant ses installations stratégiques ! Les traces d'uranium dans ces poussières étaient de l'uranium plus enrichi que ce que l'Irak avait déclaré !

2.6.2. Quelles matières pour une bombe ?

Deuxième point à considérer : quelles matières faut-il pour confectionner une arme atomique ?

Pour fabriquer une arme atomique, il faut :

- soit de l'uranium enrichi à au moins 93 % d'uranium 235,
- soit du plutonium provenant de combustibles peu irradiés.

Toutes les autres matières radioactives peuvent servir à fabriquer une « bombe sale ». On entend par là non pas une bombe qui explose par fission ou fusion, comme les bombes A et H, mais simplement l'association d'une matière radioactive quelconque et d'un explosif classique pour la disperser : il s'agit de jouer sur l'angoisse du public et d'attenter à la santé, non de détruire la cible. Point n'est besoin de plutonium militaire. Les sources radioactives utilisées par l'industrie suffiraient... Cela n'a rien à voir avec la vente de réacteurs et de combustible.

2.6.3. Réacteur

Troisième point : Y a-t-il un risque de prolifération à vendre un *réacteur* à un pays pour produire de l'électricité ou de la chaleur ?

Les combustibles irradiés utilisés dans les réacteurs de puissance à eau pressurisée ou bouillante subissent un taux de combustion élevé, qui produit un plutonium dont la composition¹¹ ne permettrait pas de fabriquer une arme. Certains autres types de réacteurs permettent le déchargement de combustible peu irradié, dont le plutonium aurait, lui, une bonne qualité militaire.

[Retour au sommaire](#)

- Si l'on vend à un pays un réacteur à eau pressurisée ou bouillante, où le combustible est irradié jusqu'à des taux de combustion élevés, le plutonium contenu dans le combustible usé a une composition qui ne permettrait pas de fabriquer une arme ; ce n'est donc pas du réacteur que pourrait venir un risque de prolifération.

¹⁰ sans doute beaucoup trop faibles pour mériter une surveillance des points de vue de la santé et de l'environnement

¹¹ Vous savez qu'il existe des plutoniums 238, 239, 240, 241, 242. Les physiciens vous diront qu'ils se différencient par le nombre de neutrons dans le noyau de l'atome. Ce sont les *isotopes* du plutonium. Une teneur trop élevée en isotopes pairs (238, 240, 242) empêche l'utilisation pour fabriquer des armes.

2.6.4. Combustible

Quatrième point : Y a-t-il un risque de prolifération du côté du *combustible* pour le réacteur ?

On peut penser que l'intérêt d'un pays qui commandera un réacteur nucléaire de puissance sera de passer contrat avec son vendeur en même temps, d'une part, pour le réacteur et, d'autre part, pour l'uranium et son enrichissement, comme vient de le faire la Chine lorsqu'elle a commandé deux EPR à Areva.

- Si le pays *achète* le combustible pour alimenter le réacteur, que le combustible, une fois usé et sorti du réacteur, est renvoyé vers des installations de retraitement dans un pays qui le pratique aujourd'hui, et si les transports sont assurés par le(s) pays fournisseur et repreneur du combustible, alors il n'y a pas non plus de risque de prolifération.
- Il peut y avoir risque de prolifération si le pays essaie d'exercer lui-même les activités du cycle du combustible, telles que l'enrichissement et le retraitement :
 - *l'enrichissement*, car les mêmes techniques, telles que la centrifugation, mises en œuvre pour fabriquer l'uranium enrichi à 4 ou 5 % d'uranium 235 destiné aux réacteurs de puissance, peuvent, à peu de chose près, permettre d'aller bien au-delà, jusqu'aux 93 % nécessaires à la fabrication d'une bombe !
 - *le retraitement*, si le pays dispose d'un réacteur capable de fournir du plutonium peu irradié, car le retraitement permettrait de le séparer et de constituer ainsi la matière fissile pour une bombe.

Prenons des exemples :

- La Corée du Nord est un des pays qui ont causé au monde le plus de soucis sur ce sujet : or elle n'a pas de réacteur électronucléaire, mais un petit réacteur confectionné spécifiquement, clandestinement, pour fabriquer du plutonium de qualité militaire. Elle a retraité une partie des combustibles usés pour en récupérer le plutonium.
- On parle maintenant, de même, de la Syrie, à qui la Corée du Nord aurait vendu les plans de ce réacteur, et qui aurait construit clandestinement son sosie. Israël aurait probablement bombardé et démolit celui-ci le 8 septembre, d'après ce qu'on lit dans la presse.
- L'Irak a utilisé des calutrons, engins sommaires capables de réaliser très lentement l'enrichissement de l'uranium. On a vu comment il a été découvert.

Comme on le constate pour ces trois pays, ce n'est pas par les réacteurs électronucléaires qu'ils ont cherché à construire des bombes atomiques clandestines.

2.6.5. Le TNP permet les activités nucléaires civiles

Cinquième point : Une difficulté vient du fait que le TNP n'interdit pas aux pays signataires d'exercer toutes les activités qu'ils veulent dans le nucléaire civil, pourvu qu'ils déclarent leurs installations nucléaires à l'AIEA et acceptent ses contrôles et ses inspections (mais le TNP ne parlait naturellement pas du protocole additionnel qui lui est bien postérieur). L'enrichissement et le retraitement font partie des activités nucléaires civiles.

[Retour au sommaire](#)

C'est tout le problème avec l'Iran. Il a signé le TNP. La Russie lui a vendu un réacteur à eau pressurisée, qui sera bientôt prêt à démarrer. Ce n'est pas de là que risque de venir la prolifération.

Ce qu'on craint de lui vient d'ailleurs :

- On s'est aperçu qu'il a eu des activités nucléaires non déclarées pendant près de vingt ans.
- Pour alimenter son réacteur en combustible, et même quelques réacteurs qui pourraient suivre, il pourrait lui suffire d'acheter l'enrichissement à une des entreprises établies sur le marché. En réalité, le pays développe ses installations propres, en principe pour produire de l'uranium peu enrichi (ce que le TNP ne lui interdit pas), mais peut-être, on le craint, avec l'idée qu'il lui sera ensuite facile de monter aux enrichissements élevés nécessaires pour constituer une arme !
- L'Iran a l'intention de construire un réacteur à eau lourde et a lancé la construction d'une usine de production d'eau lourde : avec ces réacteurs, on peut produire du plutonium de qualité militaire.
- L'Iran n'a pas ratifié le Protocole additionnel, et en avait cependant accepté pendant un temps les inspections et les contraintes. Puis il a cessé de les accepter. Pourquoi ? On en est là.

Ce n'est pas à *Energies et Médias* de discuter si l'Iran a sans doute des activités nucléaires militaires clandestines, ou si vraiment il veut simplement être enfin indépendant du bon vouloir des autres pays pour alimenter son réacteur et ceux qu'il pourrait construire à l'avenir. Même s'il n'y avait pas avec *l'Iran* le contentieux considérable dont nous ne rappellerons pas une nouvelle fois les éléments, ce pays *ne pourrait pas être aujourd'hui un client de la France, puisqu'il n'a pas ratifié le Protocole additionnel.*

2.6.6. Banques de combustible, centres internationaux d'enrichissement

Comprenant que tout pays candidat pour utiliser l'énergie nucléaire se posera gravement la question de la sécurité d'approvisionnement en combustible, et craignant qu'il en déduise qu'il vaut mieux se doter soi-même d'installations d'enrichissement de l'uranium, l'AIEA, ainsi que d'autres pays comme la Russie, envisage de créer des *banques de combustible*, et en particulier des centres internationaux d'enrichissement. L'idée est que de tels organismes seraient en mesure, quoi qu'il advienne, de *fournir le combustible au client même si son fournisseur venait à lui faire défaut.* La Russie, le Kazakhstan et l'Arménie vont prochainement offrir les services de l'usine d'enrichissement d'Angarsk sous le contrôle de l'AIEA. De tels dispositifs sont en cours d'étude : comment se placeront-ils par rapport aux sociétés existant sur le marché, comme Areva/Eurodif ? Quels produits, au-delà de l'hexafluorure d'uranium enrichi, pourront-ils proposer, sachant que les fabricants actuels ont chacun des spécifications et un savoir-faire leur permettant d'assurer la qualité ? Ces spécifications et ce savoir-faire, la banque du combustible ne les aura vraisemblablement pas pour tous les types de réacteurs et de combustibles. Comment fera-t-elle alors ?

[Retour au sommaire](#)

2.6.7. Précautions supplémentaires, à long terme

A long terme, si le nombre de réacteurs augmente de façon considérable dans le monde, on envisage des précautions supplémentaires, qui consisteraient à minimiser les transports de produits irradiés, même s'ils contiennent du plutonium de qualité non militaire. Pour cela, on réaliserait dans les mêmes usines le retraitement du combustible irradié et la fabrication du combustible Mox¹² pour les réacteurs actuels, à eau à neutrons thermiques, ou, plus tard, pour

¹² Mox : mélange d'oxydes de plutonium et d'uranium

les réacteurs à neutrons rapides. Le CEA, notre Commissariat à l'Energie Atomique, a étudié des procédés de retraitement COEX qui répondent à ces objectifs.

Le moment est venu de parler du projet GNEP, Global Nuclear Energy Partnership, lancé par les Américains. Sans en expliquer toutes les idées, nous en retiendrons quelques unes :

- généraliser le retraitement des combustibles usés, qu'avait banni le Président Carter,
- cela permettra de résoudre un problème majeur en particulier aux Etats-Unis : l'entreposage et le stockage des éléments combustibles usés ; mais ce n'est pas notre sujet d'aujourd'hui ;
- cela permettra de recycler le plutonium contenu dans les éléments combustibles usés, et d'en brûler une bonne partie ; avant de le recycler :
 - lors du retraitement des éléments combustibles, on ne séparera pas le plutonium pur,
 - puis on effectuera dans la même usine la fabrication du combustible de recyclage;
- lorsque l'on aura mis tout le dispositif au point, on effectuera le recyclage dans des réacteurs à neutrons rapides, dont la vertu essentielle est d'être une centaine de fois plus économes en uranium que les réacteurs actuels à neutrons thermiques, et dont une autre propriété intéressante est qu'ils tolèrent la présence d'actinides mineurs, qu'on pourrait donc éventuellement en partie recycler¹³.

De nombreux pays¹⁴ ont décidé d'adhérer au projet GNEP. Il intéresse autant les petits pays que les grands, et il se rapporte à notre sujet dans la mesure où il vise à apporter une garantie supplémentaire au moment où l'énergie nucléaire a des chances de se généraliser dans le monde. Il est satisfaisant, pour les Français, de voir que les Etats-Unis s'intéressent à l'expérience française du retraitement, aux procédés avancés développés par le CEA, et qu'ils viennent de confier à un consortium comprenant Areva un approfondissement de la première étude de faisabilité qu'il avait été chargé de mener¹⁵.

2.7. Conclusion

Citons l'ancien co-fondateur de Greenpeace, Patrick Moore. Il dit en anglais (*Newsweek* du 26 mai) : « Point n'est besoin d'un réacteur nucléaire pour faire une arme atomique. Avec la technologie de la centrifugation, il est beaucoup plus simple, rapide et économique de fabriquer une bombe atomique en enrichissant directement l'uranium. Aucun réacteur nucléaire n'a servi à faire la bombe d'Hiroshima. »

[Retour au sommaire](#)

Les accords passés par la France avec divers pays ces derniers temps ne semblent pas comporter de risques. Avec tous les contrôles de l'AIEA, si l'on prend le temps d'aider un pays à acquérir les compétences et les structures nécessaires, y compris en matière de sûreté, et qu'ensuite, le jour où il aura réussi ces étapes préliminaires, on lui vend un réacteur à eau pressurisée (ou bouillante), si enfin le pays achète le combustible et, après irradiation, s'engage à le faire retraiter par exemple en France, alors on est devant une situation saine.

¹³ On appelle actinides mineurs l'américium, le neptunium et le curium. Nous n'aborderons pas aujourd'hui le sujet de leur recyclage.

¹⁴ La Corée du Sud, le Sénégal puis le Royaume-Uni ont rejoint l'Australie, la Bulgarie, le Canada, la Chine, les Etats-Unis, la France, le Ghana, la Hongrie, l'Italie, le Japon, la Jordanie, le Kazakhstan, la Lituanie, la Pologne, la Roumanie, la Russie, la Slovaquie et l'Ukraine. 21 pays au total.

¹⁵ Deux autres consortiums reçoivent aussi des financements du même ordre.

Les autres pays vendeurs, Etats-Unis, Japon, Russie, vendent aussi des réacteurs à eau pressurisée ou bouillante, et il semble bien qu'ils souscrivent à la même philosophie. Seul, le Canada propose un réacteur à eau lourde où le déchargement du combustible pendant la marche du réacteur est possible. Le plutonium contenu pourrait avoir la qualité militaire. Mais il semble que des difficultés dans cette filière rendent ces réacteurs peu attrayants, et les Canadiens ne sont plus présélectionnés dans les derniers appels d'offres.

On a vu que l'on se préoccupe aussi du long terme. Le traitement – recyclage se généralisera vraisemblablement. L'industrie nucléaire s'adapte en se développant.

3. Commentaires sur des sujets divers

3.1. *Les réacteurs rapides. Pourquoi il ne faut pas se faire un monde du sodium*

Nous venons de voir, à la fin du paragraphe 2.6, que l'avenir, dans le projet Global Nuclear Energy Partnership, GNEP, ce sont les réacteurs à neutrons rapides, cent fois plus économes que les réacteurs à neutrons thermiques d'aujourd'hui. Le Forum International Génération 4¹⁶ s'est fixé six filières pour les recherches et le développement en vue du nucléaire du futur : quatre sont avec des réacteurs à neutrons rapides.

Parmi elles, on trouve en bonne place les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium.

Or la peur du sodium avait causé des angoisses à bien des gens. Croyant bien faire, ils se sont opposés à la construction et à l'exploitation de réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium. Une bonne partie de la population, des journalistes, et une partie des hommes politiques ont milité pour fermer Superphénix, notre réacteur de 1200 mégawatts, ce qu'on peut infiniment regretter, car c'était un outil d'une très grande valeur, dont on aurait bien besoin aujourd'hui.

Les ingénieurs qui avaient conçu cette filière étaient des gens très réfléchis et sensés.

Afin de diffuser la confiance que les spécialistes éprouvent en utilisant le sodium, Energies et Médias voudrait citer ici l'explication donnée par un des concepteurs et exploitants de Superphénix. Il parle d'abord des feux à l'air, puis de la réaction du sodium avec l'eau (les plus anciens d'entre nous, en classe de physique - chimie au lycée, ont vu le sodium métallique solide brûler à la surface de l'eau d'un cristalliseur!)

D'abord les feux de sodium [à l'air].

Il y a deux effets réduisant les feux de sodium à des phénomènes pas très graves. Le premier est la faible chaleur dégagée par la combustion : de l'ordre de dix fois moins qu'un feu de pétrole à masse combustible donnée; mais surtout l'énorme chaleur spécifique de vaporisation du sodium, qui fait que *le feu s'entretient très mal*. Il faut atteindre des températures de l'ordre de 500 °C pour que le feu s'entretienne vraiment. Les produits de

¹⁶ cf. *Remettre sur les Rails* n° 22 d'octobre 2006, § 2.2.3.

combustion, essentiellement le peroxyde de sodium, sont très opaques et masquent les flammes, empêchant la combustion des matières combustibles environnantes. Par contre, ces produits de combustion sont assez corrosifs, et le nettoyage après un feu est une opération longue et pénible. Mais en termes de risque, ce type de feu est vraiment bénin.

Ensuite les *réactions entre le sodium et l'eau dans les générateurs de vapeur* [GV].

Dans un générateur de vapeur [un échangeur de chaleur composé de très nombreux tubes repliés sur eux-mêmes, où l'eau circule dans le tube et le sodium est à l'extérieur], l'eau est à pression très élevée, donc le moindre petit trou s'accompagne très vite d'une réaction entre le sodium et l'eau, qui ressemble à un petit chalumeau : le trou s'agrandit et assez vite le débit d'eau augmente, au point de faire monter la pression dans le circuit de sodium, réglé à très basse pression. Il s'ensuit une rupture de la membrane de sûreté, placée sous le GV, et une *rapide vidange de tout le sodium* contenu dans le GV. Les gaz formés lors de la réaction, essentiellement de l'hydrogène, se mélangent au gaz neutre utilisé pour couvrir le sodium (donc pas de risque d'explosion), et l'ensemble s'échappe vers une cheminée, avec un beau panache de fumée blanche.

Après un tel incident, le réacteur est arrêté, la boucle secondaire en défaut est isolée, et on procède à l'expertise du GV endommagé. Selon le concept, le réacteur peut repartir avec une boucle en moins.

Pour Phénix et pour [Superphénix], chaque tube d'échange peut être individuellement obturé de l'extérieur du GV et donc isolé. Ensuite, il est possible de repartir avec un tube en moins. Mais cette opportunité dépend du concept. On peut imaginer de petits modules de GV que l'on démonterait et remplacerait après un tel défaut. Ou bien un remplacement de tout le GV comme sur le réacteur russe BN 350 dans les années 1975 : les Russes ont successivement remplacé les 6 GV qui équipaient le réacteur.

3.2. L'uranium appauvri est une manne à bien conserver, pas un déchet

On parle moins de l'uranium appauvri car pratiquement plus personne ne prétend aujourd'hui qu'il soit dangereux. Mais la plupart des gens ne savent pas pourquoi les spécialistes se refusent à le considérer comme un déchet. Or voici que la presse découvre, avec quelques articles tout récents, qu'effectivement de l'uranium appauvri entreposé à Bessines-sur-Gartempe va être repris, comme matière première, comme ressource !

Energies et Médias saisit cette occasion pour expliquer.

3.2.1. Qu'est-ce que l'uranium appauvri ?

Par définition, l'uranium appauvri est de l'uranium qui contient une proportion d'uranium 235 inférieure à celle que l'on trouve uniformément dans toute la nature¹⁷, qui est d'environ 0,7 %. Il y a 0,7 % d'uranium 235 et 99,3 % d'uranium 238 dans l'uranium naturel.

[Retour au sommaire](#)

On fabrique de l'uranium appauvri dans l'industrie de deux façons :

¹⁷ sauf dans certains petits volumes de roche à Oklo, au Gabon, où un réacteur nucléaire naturel a fonctionné spontanément pendant des millénaires, ce qui a consommé de l'uranium 235. Dans ces volumes se trouve de l'uranium appauvri naturel.

- en irradiant de l'uranium naturel ou peu enrichi dans des réacteurs ; lorsque l'on sort le combustible usé, son taux d'uranium 235 a baissé. Cela peut être au-dessous de l'uranium naturel¹⁸. Lorsqu'on les traite, on sépare des déchets ultimes ce qui est une ressource valorisable : le plutonium et l'uranium résiduel ;
- au cours de l'enrichissement de l'uranium, que ce soit par diffusion gazeuse ou par centrifugation : on produit d'un côté l'uranium enrichi, de l'autre le *sous-produit*, l'*uranium appauvri*.

Dans les deux cas, l'uranium appauvri est une ressource à conserver précieusement, mais nous allons parler aujourd'hui du deuxième cas : de l'uranium appauvri issu des usines d'enrichissement.

3.2.2. L'hexafluorure d'uranium, UF₆

Les procédés industriels d'enrichissement utilisent l'uranium gazeux : plus précisément le composé chimique UF₆.

L'UF₆ a un inconvénient : il demande des précautions sérieuses car il est très réactif. Au contact de la vapeur d'eau de l'air, il produit du gaz fluorhydrique HF qui détériorerait les alvéoles pulmonaires.

C'est pourquoi la France a étudié et mis sur pied une technologie pour convertir industriellement l'UF₆ appauvri en oxyde d'uranium appauvri solide stable et non dangereux. Elle exporte cette technologie aux Etats-Unis et en Russie. Les stocks français de cet oxyde d'uranium appauvri sont entreposés à Bessines.

3.2.3. Une manne, pourquoi ?

Oui, l'uranium appauvri est une manne, pas un déchet, pour deux raisons : l'une que vous pouvez découvrir aujourd'hui par quelques articles parus dans la presse, l'autre, essentielle, qui a trait à l'avenir à long terme.

Commençons par expliquer cette raison essentielle : Lorsque les réacteurs à neutrons rapides seront largement utilisés, l'uranium appauvri sera placé dans une partie de leur cœur. Les neutrons rapides permettent de valoriser l'uranium 238, dont l'appauvri contient 99,8 %. Ce sera potentiellement la matière première de l'énergie nucléaire pour un ou plusieurs millénaires, comme une mine d'uranium !

Venons-en à l'autre raison. C'est elle qui fait que des trains ramènent aujourd'hui de l'oxyde d'uranium appauvri entreposé à Bessines, vers les usines d'Areva. On va reprendre cet oxyde comme un minerai : le traiter à Malvési, puis à Pierrelatte, chez Comurhex, puis Eurodif, pour faire de l'UF₆ appauvri, et traiter celui-ci dans l'usine d'enrichissement. Il en sortira d'un côté de l'uranium appauvri mieux épuisé en uranium 235, et de l'autre un peu d'uranium enrichi.

[Retour au sommaire](#)

Mais, direz-vous, pourquoi reprendre un sous-produit de l'enrichissement pour le réenrichir ?!

L'explication est *économique*. Pendant de nombreuses années, le prix de l'uranium naturel est resté dix fois plus bas qu'aujourd'hui. On peut comprendre qu'on avait alors,

¹⁸ C'était le cas des combustibles usés de la première filière française, dont les réacteurs ont été fermés depuis longtemps.

schématiquement, deux solutions pour obtenir une tonne d'uranium enrichi à 4 % d'uranium 235 :

- consommer le moins possible d'uranium naturel et bien l'épuiser en uranium 235 ; alors l'uranium appauvri contenait environ 0,2 % (peu importe le chiffre exact) d'uranium 235 ;
- accepter de consommer un peu plus d'uranium naturel, en se donnant moins de mal pour retirer l'uranium 235.

Parce que l'uranium valait si peu cher, on a choisi la deuxième solution, l'optimum économique étant, à l'époque, de l'ordre de 0,35 % (peu importe le chiffre exact) d'uranium 235 dans l'uranium appauvri.

Que se passe-t-il aujourd'hui ? *La valeur de l'uranium est montée en flèche.* L'optimum économique s'est déplacé. Eurodif rejette l'uranium appauvri plus appauvri en uranium 235. C'est si vrai qu'il devient plus avantageux d'utiliser une partie de l'oxyde d'uranium appauvri de Bessines (celle qui est à environ 0,35% d'uranium 235, produite quand les cours de l'uranium étaient très bas) que la même quantité de concentré venant des mines d'uranium !

Dans le futur, lorsque la technique d'enrichissement changera – on passera bientôt de la diffusion gazeuse à la centrifugation, puis, peut-être, un jour, à l'enrichissement par laser -, l'optimum économique se déplacera encore: il est possible qu'on reprenne alors à nouveau l'uranium appauvri pour mieux l'appauvrir et produire en même temps un peu d'uranium enrichi !

Vous avez bien noté que ce réenrichissement aboutira de nouveau à de l'UF₆ appauvri (plus appauvri qu'avant), que cet UF₆ appauvri sera reconverti en oxyde stable, et de nouveau entreposé à Bessines ! En attendant d'être valorisé, le jour venu, dans les réacteurs à neutrons rapides.

[Retour première page](#)

[Retour au sommaire](#)