

REMETTRE SUR LES RAILS N° 22

Octobre 2006

A chaque énergie sa place.
Mais n'ayons pas peur de l'énergie nucléaire !

Ce document, ainsi que les précédents numéros, peut être consulté sur le site

<http://www.uarga.org>

(anciennement: <http://www.uarco-france.com>)

SOMMAIRE

1. La conjoncture, pour le nucléaire.....	1
2. Explications pour tenter de venir à bout des préjugés sur le nucléaire (suite).....	4
2.1. Le nucléaire civil en Iran	5
2.2. Le nucléaire à moyen terme et à long terme	7
2.2.1 Indispensable, le nucléaire ?	7
2.2.2. La fusion	9
2.2.3. Forum International Génération IV	9
2.2.3.1. Les objectifs	10
2.2.3.2. Les six systèmes	10
2.2.4. Réacteurs de 3 ^{ème} génération. L'EPR	11
2.2.4.1. L'EPR	11
2.2.4.2. Réacteurs de 3 ^{ème} génération de 1000 MWe	12
3. Remises sur les rails sur des sujets divers	13
3.1. EPR de Flamanville: Manoeuvre des opposants.....	13
3.2. Est-il raisonnable de parler d'une manipulation du Professeur Pellerin ?	13

1. La conjoncture, pour le nucléaire

James Lovelock, gourou des écologistes (*The Wall Street Journal Europe*, 5 septembre), parle d'*aller en voilier jusqu'au pôle* suite à l'augmentation de la concentration de l'atmosphère en gaz à effet de serre ! Quand on a cette image en tête, on mesure l'avantage de l'énergie nucléaire, que cite Walter Hohlefelder, président du Deutsches Atomforum : elle évite déjà aujourd'hui dans le monde le dixième de l'ensemble des émissions de CO₂, soit 2 milliards de tonnes par an (*Süddeutsche Zeitung* du 10 août), *4 à 5 fois les objectifs de Kyoto !* (*L'Echo de Belgique* du 20 octobre). Ce grand mérite du nucléaire commence à être connu, au moins des politiques.

Signe de confiance dans l'arrivée prochaine de commandes de réacteurs nucléaires, et même, crainte de ne pas pouvoir tenir le rythme de cette renaissance (*New Scientist* du 16 septembre) : Areva¹ et General Electric n'ont pas attendu d'avoir reçu une commande effective pour lancer la fabrication des pièces de réacteur dont le délai de fabrication est le plus long. C'est le cas en particulier des plus grosses pièces de forge (*Nucleonics Week* du 10 août). Il n'y a que deux sociétés capables de les fabriquer : Areva vient d'en acquérir une, Sfarsteel en Bourgogne. Et General Electric les commande à Japan Steel Works.

La Russie annonce qu'elle veut démarrer la construction de 50 réacteurs nucléaires à raison de 2 par an, subventionnée par l'Etat de 2007 à 2015, puis financée par le marché (*Les Echos* du 11 septembre).

Qu'en est-il de Europe ? M. Dupraz, directeur adjoint à EDF, responsable du parc de production, pense que *pour répondre à une demande croissante d'électricité, l'Europe (des Quinze) devra investir 500 milliards d'euros dans les quinze prochaines années. L'équivalent d'une centrale au gaz de 400 MW² par semaine ou d'un EPR³ de 1650 MW chaque mois !* (*Le Monde* du 1^{er} août)

Au Royaume-Uni, l'« Energy review » adoptée par le gouvernement devrait donner un vigoureux coup d'accélérateur au programme nucléaire (*The Times* du 15 juillet) ; à condition toutefois que le gouvernement fasse disparaître un certain nombre d'obstacles à l'aide d'un document (policy document) attendu par l'industrie – c'est elle qui sera chargée d'investir - et qui n'est maintenant annoncé que pour Pâques 2007 (*Financial Times* du 12 octobre), à une date où Tony Blair ne sera plus à la tête du gouvernement.

La Finlande serait sur le point de commander une deuxième unité (*La Lettre de l'Expansion* du 18 septembre).

La Suisse cherche des sites pour de nouvelles centrales nucléaires (*Neue Zürcher Zeitung* 10 août).

L'Allemagne est tiraillée. L'accord de compromis qui permet à Angela Merkel de gouverner maintient en vigueur le pacte d'abandon progressif du nucléaire conclu par le gouvernement précédent. Mais l'industrie voudrait en sortir. Le président du directoire d'EnBW (Energie Bade-Wurtemberg) pose la question : « Notre pays est-il si riche que cela, et notre société est-elle si arrogante et si présomptueuse, pour vouloir détruire avant l'heure des biens économiques d'une valeur de 30 milliards d'euros ? » (*Focus* du 18 septembre). La présidence allemande de l'Union Européenne, au premier semestre de 2007, sera-t-elle l'occasion de rediscuter cela, dans le cadre de la réflexion européenne sur la politique de l'énergie ? Angela Merkel aurait l'intention de promulguer une politique nationale d'approvisionnement en énergie au deuxième semestre 2007 (*Nucleonics Week* du 24 août). Mais changer la loi exigerait une majorité aux deux chambres du parlement fédéral.

[Retour au sommaire](#)

En Espagne, le gouvernement est en passe d'imiter l'Allemagne de Schröder et Trittin, et de se diriger vers un abandon progressif. Zapatero martèle qu'il réduira le poids du nucléaire au

¹ plus précisément Unistar Nuclear, qu'Areva a créé avec Constellation Energy

² MW se lit mégawatts. (1 mégawatt égale 1 million de watts ou mille kilowatts.) Vous lirez aussi plus bas : MWe, mégawatts électriques, mais c'est la même chose. Dans les deux cas on parle de la puissance électrique fournie par le réacteur.

³ European Pressurised water Reactor

cours de la législature (*El Pais* du 21 septembre). Le gouvernement, en contrepartie, espère faire passer l'idée d'un centre de stockage de déchets radioactifs (*El Pais* du 17 septembre).

En France, vous connaissez la situation : l'EPR de Flamanville 3 a franchi l'étape de l'enquête publique et du permis de construire. EDF a passé les commandes principales, mais les travaux ne pourront effectivement commencer sur le site qu'après l'obtention du décret d'autorisation de création, attendu fin 2007.

L'Argentine et le Brésil seraient en passe de reprendre leur programme de construction de réacteurs nucléaires. Cela consiste, pour l'Argentine, à finir son deuxième réacteur et à en construire un troisième (*Le Monde* du 30 août) ; pour le Brésil, le réacteur Angra 3 serait sans doute programmé pour 2013 quel que soit le résultat de l'élection présidentielle (*AFP* le 5 octobre)..

Naturellement l'approvisionnement en combustible nucléaire devient un point stratégique.

- Le Kazakhstan veut devenir vers 2010 le n° 1 mondial pour la production d'uranium (*Financial Times* du 29 août).
- Le Brésil vient d'être autorisé par l'AIEA à enrichir sur son territoire l'uranium naturel (*AFP* du 13 septembre).
- L'Argentine et l'Afrique du Sud étudient l'idée de se lancer à nouveau dans un programme d'enrichissement (*Nucleonics Week* du 31 août).
- L'Australie, qui possède les plus importantes réserves d'uranium du monde, envisage également, nous l'avons dit dans notre précédent numéro, d'aller jusqu'à l'enrichissement, et même de construire des centrales nucléaires ! Une commission doit soumettre ses propositions en novembre.

Ceci nous amène à reparler de la Global Nuclear Energy Partnership, GNEP (cf. *Remettre sur les rails* n° 21, de juin 2006, §1), la grande idée du Président Bush ; disons, pour être plus précis : la grande idée du Ministère de l'énergie des Etats-Unis (DOE) adoptée par le Président Bush.

L'Australie pourrait être autorisée par Washington à entrer dans le club GNEP. Elle intéresse en particulier les Etats-Unis pour la possibilité qu'elle pourrait offrir de stockage international de déchets sur son territoire (*International Herald Tribune*, 19 août). L'Afrique du Sud, le Brésil et l'Argentine souhaiteraient faire partie du club pour l'enrichissement.

[Retour au sommaire](#)

Mais l'autre élément sur GNEP, encore bien plus intéressant, est que le DOE s'est rendu compte du caractère un peu futuriste de son premier projet. Plutôt que de se fixer sur un nouveau procédé de retraitement, où les actinides mineurs⁴ devraient rester avec le plutonium, pourquoi ne pas demander à l'industrie des « expressions d'intérêt », des propositions donc, fondées sur des *technologies déjà connues*, qui seraient beaucoup plus rapidement mises en œuvre sur le plan industriel (*Nuclear Fuel* du 28 août) ? Areva a tout de suite proposé les procédés appelés Coex (pour « co-extraction de l'uranium et du plutonium »), déjà bien étudiés par le CEA. De nombreuses autres offres ont été reçues par le DOE. Areva (qui se présente associée à deux entreprises américaines) a le mérite d'avoir l'expérience d'années d'exploitation de La Hague (même si Coex présente des différences avec le procédé Purex de

⁴ Les actinides sont l'uranium et les atomes plus lourds que l'uranium, appelés transuraniens, formés à partir d'un atome d'uranium ou d'un autre transurien par capture d'un neutron. Ce sont les atomes de neptunium (Np), de plutonium (Pu), d'américium (Am) et de curium (Cm). Les actinides mineurs sont Np, Am et Cm.

La Hague) ; et on peut ajouter : des années d'expérience de Melox⁵, ce qui intéresse aussi les Américains car, après avoir retraité, il s'agira de recycler les matières combustibles, uranium et plutonium (puis uranium, plutonium et actinides mineurs le jour où l'on construira des réacteurs à neutrons rapides). Ce changement d'exigences de la part du DOE lève déjà un obstacle important sur le chemin du retour du retraitement aux Etats-Unis⁶.

Pour poursuivre sur les thèmes des évolutions envisagées dans le nucléaire pour diminuer les risques de prolifération des armes atomiques, on peut évoquer les grandes réunions de brain storming (remue-ménages ?), deux jours et demi (*Nuclear Fuel* du 25 septembre), lors de la Conférence Générale de l'AIEA⁷ à Vienne, réunions consacrées à l'idée que nous avons développée dans notre dernier numéro : il s'agissait de trouver un mécanisme pour garantir aux pays engagés dans un programme électronucléaire que, si leur fournisseur dans le cycle du combustible venait à leur faire défaut pour une raison non liée à la prolifération, ils trouveraient en remplacement le même service auprès d'un organisme international ; cela pourvu qu'ils se soient engagés de façon définitive à renoncer à l'enrichissement et au retraitement sur leur sol. Par exemple, on a évoqué l'idée de centres internationaux d'enrichissement, sur territoire extraterritorial (?), sous le contrôle de l'AIEA. On n'a pas trouvé, au cours de ces réunions à Vienne, de solution vraiment satisfaisante, mais on va continuer à en chercher dans l'année qui vient. L'industrie a plaidé pour la prudence quant à l'idée d'une banque du combustible (*Nuclear Fuel* du 25 septembre), craignant que cela vienne perturber un marché qui actuellement fonctionne très bien par lui-même.

La Russie, avec la collaboration du Kazakhstan, serait prête à ouvrir un centre international d'enrichissement dès 2007 (*AFP* le 18 septembre), et à accueillir un centre international de stockage d'éléments combustibles usés (*Spent Fuel* du 17 juillet).

Terminons par deux points importants pour le Japon :

- L'usine de retraitement de Rokkasho-Mura poursuit son démarrage avec une campagne de combustible de réacteur à eau bouillante (*Nuclear Fuel* du 28 août).
- Le combustible Mox a peut-être terminé sa quarantaine ! Après tous les retards d'origines diverses, deux commandes de combustible Mox ont été enregistrées : pour Kyushu en septembre, après Chubu en mars (*AFP* le 28 septembre).

[Retour au sommaire](#)

2. Explications pour tenter de venir à bout des préjugés sur le nucléaire (suite)

L'actualité à l'heure où nous écrivons, c'est la question de savoir si l'explosion en *Corée du Nord* est bien celle d'une bombe atomique, et c'est de savoir si *l'Iran* s'est lancé, lui aussi, dans un programme militaire. Avons-nous des commentaires à faire sur ces deux sujets ?

On savait que la Corée du Nord avait des éléments combustibles usés venant d'un petit réacteur capable de produire du plutonium de qualité militaire. Les Coréens les avaient soustraits aux inspections de l'AIEA avant même de se retirer du Traité de Non Prolifération (TNP) des armes nucléaires. On pouvait bien penser qu'ils allaient retraiter ces éléments combustibles pour en extraire le plutonium. Ce mois d'octobre, ils ont, semble-t-il, fini par

⁵ Melox est l'usine qui, à Marcoule, fabrique le combustible Mox, (c'est-à-dire à mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium).

⁶ Un premier pas avait été franchi lorsque les Etats-Unis ont choisi la voie du recyclage sous forme de combustible Mox pour le plutonium provenant du démantèlement de leurs armes nucléaires.

⁷ Agence Internationale de l'Energie Atomique

faire exploser une bombe atomique. En était-ce une ? Si les sanctions de la part du reste du monde ne sont pas assez graves, cela ne donnera-t-il pas envie à d'autres pays d'imiter les Nord-Coréens ? Ce ne sont pas vraiment des questions de la compétence de l'UARGA. Nous ne ferons pas de commentaires, tout au moins dans ce numéro.

En revanche, l'Iran s'est lancé depuis longtemps dans une activité nucléaire civile, qui est complètement dans notre sujet. On va voir comment la question militaire se greffe sur celle du nucléaire civil.

2.1. Le nucléaire civil en Iran

L'Iran est un pays grand et fier, depuis l'Antiquité ; rappelez-vous l'empire perse, Darius et ses démêlés avec la Grèce antique, racontés par Xénophon.

L'Iran a signé et ratifié le TNP, qui date de 1968. A ce titre, il a promis de ne pas avoir d'activité nucléaire militaire, mais il a pleinement le droit d'avoir une activité nucléaire civile : construire et exploiter des réacteurs nucléaires, ainsi qu'exercer des activités de production de combustible nucléaire. C'était ce que voulait le Shah, pour préparer, disait-il, l'après pétrole. Cette volonté est à l'origine d'une coopération franco-iranienne dans le domaine nucléaire civil. Elle remonte à 1956. L'Iran a été un actionnaire important d'Eurodif⁸. Il en détient d'ailleurs encore 10 % environ, en tant que partenaire purement financier⁹. La collaboration avec le Shah ne s'est pas limitée à l'enrichissement. Framatome a vendu à l'Iran six réacteurs à eau pressurisée de 900 MWe¹⁰. La construction des deux premiers était commencée au bord de la rivière Karun quand la révolution islamique a interrompu les travaux. De leur côté, les Allemands avaient aussi vendu à l'Iran deux réacteurs à eau pressurisée, en construction un peu plus avancée, à Bushehr. C'est le plus avancé des deux que les Russes ont terminé en VVER¹¹ de 1000 MWe. Tout cela montre un intérêt ancien et constant de l'Iran pour le nucléaire civil.

[*Retour au sommaire*](#)

Ce réacteur VVER est presque terminé, et attend la livraison du combustible par la Russie. Mais les Américains ont réussi à faire pression sur les Russes pour qu'ils retardent la livraison. Jusqu'à quand ? Tout d'abord, jusqu'à ce que l'Iran promette de ne pas conserver sur son territoire les combustibles usés futurs, mais de les renvoyer en Russie¹². Un accord a effectivement été conclu en ce sens. Plus tard, les Etats-Unis ont, semble-t-il, mis une autre condition : que l'Iran ait donné les garanties permettant d'être assuré qu'il ne développe pas l'arme atomique !

⁸ filiale de COGEMA (devenue Areva NC), qui a dans le Tricastin la plus grosse usine d'enrichissement du monde, utilisant le procédé de diffusion gazeuse.

⁹ à travers Sofidif, filiale d'Eurodif. L'Iran possède 40% de Sofidif qui détient 40% d'Eurodif. On se souvient d'un très dur contentieux dans les années 1980 autour du remboursement par la France d'un prêt d'un milliard de dollars de l'Iran au CEA.

¹⁰ 900 mégawatts électriques, 900 000 kilowatts, soit de quoi alimenter une ville d'un million d'habitants.

¹¹ Le VVER est une version russe des réacteurs à eau pressurisée occidentaux, qui n'a rien à voir avec les RBMK de Tchernobyl.

¹² Ainsi l'Iran ne pourrait pas, dans une éventuelle installation clandestine, retraiter les éléments combustibles usés pour en retirer le plutonium, et s'en servir un jour pour faire des armes atomiques. (C'est une constante de la politique américaine pour interdire la fabrication d'armes à base de plutonium, par exemple en Corée du Sud et à Taïwan). La voie plutonium étant ainsi bloquée, il reste à contrôler la voie uranium enrichi, c'est l'objet du contentieux actuel.

Alors l'Iran, on peut le comprendre, veut disposer par lui-même des moyens pour fabriquer son combustible nucléaire : extraction de l'uranium à partir de minerai pour produire des concentrés ; conversion pour mettre cet uranium sous une forme (l'hexafluorure d'uranium) permettant son enrichissement ; enrichissement pour obtenir l'uranium à 4 % environ d'uranium 235 ; puis les étapes conduisant aux éléments combustibles qu'on chargera dans les réacteurs.

L'étape névralgique (on va voir plus loin pourquoi) est l'enrichissement. L'Iran veut l'effectuer par le procédé de *centrifugation* ; cela n'est pas étonnant, car même les Etats-Unis et la France ont décidé de se reconvertir : promoteurs depuis longtemps de la *diffusion gazeuse*, ils reconnaissent aujourd'hui que, avec le prix croissant de l'électricité, il est beaucoup plus économique d'utiliser la *centrifugation* qui consomme environ 20 fois moins d'électricité !

Oui mais, avec les centrifugeuses, des ingénieurs expérimentés peuvent monter « facilement » à des enrichissements bien plus élevés que les 4 % requis pour alimenter les réacteurs nucléaires civils. On peut monter aux 93 % dont on fait les bombes ! Or c'est là que l'Iran a été pris en défaut :

- l'AIEA a trouvé dans le pays des traces d'uranium à 36 %, qu'il était impossible de fabriquer avec les installations nucléaires du pays qui lui avaient été déclarées, et qui étaient soumises à ses inspections ! Cet uranium venait bien de quelque part ! D'une installation clandestine ? Les autorités iraniennes répondent que ces traces ont été trouvées sur une machine importée du Pakistan (qui possède l'arme nucléaire), et que ce n'est pas en Iran qu'a été produit cet uranium enrichi. Ce n'est pas impossible. Mais il y a beaucoup plus grave :
- **pendant 18 ans**, les Iraniens, signataires du TNP¹³, ont mené en violation complète de leurs engagements un programme clandestin d'enrichissement dans des installations non déclarées, donc non inspectées ; cela, jusqu'à ce que des dissidents en informent les services secrets étrangers qui ont alerté l'AIEA. Etant donné que le TNP leur donnait parfaitement le droit de mener ces activités en plein jour si l'enrichissement de l'uranium restait inférieur à 20 %, il est difficile de croire que l'Iran n'avait que des visées pacifiques.

[*Retour au sommaire*](#)

Les Etats-Unis considèrent - et de nombreux pays avec eux, dont la France - qu'il serait excessivement dangereux de laisser l'Iran se doter de l'arme nucléaire, *d'autant plus que son président actuel a dit vouloir rayer Israël de la carte !* Israël qui a, lui, l'arme nucléaire, même si ce n'est pas officiel. On peut bien imaginer qu'effectivement le président iranien désire conquérir la maîtrise de l'arme atomique afin d'équilibrer la puissance d'Israël.¹⁴ L'exemple du Pakistan qui dispose officieusement de l'arme peut également l'encourager à l'avoir à son tour.

Quoi qu'il en soit, la confiance internationale étant perdue avec quelque raison, c'est pour la rétablir que l'on a demandé à l'Iran de s'abstenir volontairement d'enrichir l'uranium, bien que le TNP ne le lui interdise pas.

¹³ et du contrat normal de garanties (safeguards).

¹⁴ Nombreux sont ceux qui se disent : les pays qui ont la bombe ont bien mené des recherches pour en acquérir la technologie, et des travaux pour la construire. De quel droit l'interdire à l'Iran ? Il faut leur répondre : aucun de ces pays n'avait alors signé un traité de non prolifération en promettant de s'abstenir d'activités dans ce domaine. L'Iran, s'il se confirmait qu'il se prépare pour disposer de l'arme atomique alors qu'il a signé le TNP, aurait menti. De plus, nous l'avons dit, le président du pays dit vouloir rayer Israël de la carte !

C'est là que la fierté de la nation iranienne (ex-perses) intervient : il fait tout le contraire de ce qu'on attend de lui :

- Il s'est retiré du Protocole additionnel au TNP, qu'il avait au départ signé et appliqué volontairement (mais pas ratifié), qui autorisait les inspecteurs de l'AIEA à venir faire des contrôles inopinés, et à effectuer des prélèvements sur tout point du territoire pour les faire analyser tranquillement à leur retour en Autriche.
- Il menace de se retirer de l'AIEA.
- Il a une cascade de 164 centrifugeuses en fonctionnement¹⁵, et projette d'en installer 3000¹⁶. Certains disent que, en un an, ce serait assez pour fabriquer l'uranium hautement enrichi permettant de faire une bombe atomique !
- Des travaux sont en cours, qui permettraient de loger 30 000 centrifugeuses enfouies sous terre.
- Une usine est inaugurée pour la production d'eau lourde, destinée au réacteur en projet d'Arak, ouvrant une voie possible vers le plutonium. Un tel réacteur n'aurait rien à voir avec le nucléaire civil.

Malgré tout cela, les autorités du pays jurent leurs grands dieux que leur intention n'est pas de fabriquer des bombes, seulement d'acquérir leur autonomie dans le nucléaire civil. Les diplomates leur proposent des solutions alternatives pour leur garantir qu'ils ne manqueraient jamais de combustible nucléaire¹⁷. Mais on se demande si ces diplomates ne se font pas mener en bateau...

[Retour au sommaire](#)

2.2. Le nucléaire à moyen terme et à long terme

Certains lecteurs nous ont suggéré de rappeler ce que sont tous ces projets d'énergie nucléaire, dont on parle dans la presse, comment ils se placent dans l'avenir et quel est leur intérêt. C'est sans doute une bonne idée, même s'il s'agit essentiellement de reprendre des informations déjà anciennes.

Avant de nous lancer, répondons en quelques phrases à ceux qui, contrairement à nous, doutent que le nucléaire soit indispensable. En effet, nous pensons que l'énergie nucléaire n'est certes pas la solution à elle seule, mais qu'on ne pourra répondre aux besoins d'énergie du monde sans énergie nucléaire.

2.2.1 Indispensable, le nucléaire ?

Oui, comme vous savez, il y a des gens qui disent : le nucléaire, on n'en a pas besoin, il faut s'en affranchir dès que possible ! Si l'on en croyait les Verts, il suffirait de faire suffisamment de recherche sur les énergies renouvelables¹⁸ et de développer ces sources d'énergie, avec, parallèlement, un effort majeur pour favoriser les économies d'énergie, l'efficacité

¹⁵ KUNA, agence de presse officielle du Koweït, citée par le site *Internet Armées.com* le 11 avril 2006

¹⁶ La seconde étape est d'installer 3 000 centrifugeuses, ce qui sera fait d'ici à la fin de l'année", a précisé M. Saïdi, vice-président de l'Organisation iranienne de l'énergie atomique (*site Internet Armées.com*, 12 avril).

¹⁷ On a vu au chapitre 1 qu'en septembre, à la Conférence Générale de l'AIEA à Vienne, une manifestation spéciale s'est tenue pour étudier quelles pourraient être de telles solutions alternatives, non seulement pour l'Iran, bien sûr, mais pour tous les pays qui s'engageraient à n'avoir sur leur sol aucune activité d'enrichissement d'uranium ou de retraitement de combustibles usés.

¹⁸ Cela comprend aujourd'hui les énergies hydroélectrique, géothermique, solaire, éolienne, et la biomasse.

énergétique¹⁹. Nous sommes convaincus qu'ils se trompent et nous trompent en faisant croire que cela suffirait à résoudre les problèmes énergétiques mondiaux. Bien sûr, il faut que chacun de nous se discipline et s'organise pour économiser l'énergie par tous les moyens²⁰. Mais de plus en plus d'experts reconnaissent que les énergies renouvelables ne peuvent que servir d'appoint utile. A cela, une exception, l'énergie hydroélectrique qui est déjà largement exploitée : elle représente environ 90 % des sources d'énergie renouvelables exploitées à ce jour ; mais elle est malheureusement limitée par la géographie des pays. Vous savez bien que, parmi d'autres raisons techniques et économiques, pour lesquelles les autres sources d'énergie renouvelables ne peuvent servir que d'appoint utile, il en est une très simple : le soleil et surtout le vent ne constituent pas des sources constantes d'énergie. Quand ils sont absents ou trop faibles, une autre source doit prendre temporairement le relais.

Pour assurer les immenses besoins en énergie des milliards d'hommes, que reste-t-il à notre disposition ?

Les combustibles fossiles carbonés ont, vous le savez bien, deux immenses inconvénients :

- celui d'augmenter la concentration dans l'air de gaz à effet de serre, d'où découle une élévation de température moyenne de la planète ; et on craint des variations climatiques rapides et majeures qui seront catastrophiques pour de nombreux pays ;
- le fait que les réserves de pétrole, de gaz et, dans une moindre mesure, de charbon, sont limitées ; il faut donc, en pensant aux générations futures, épargner scrupuleusement ces matières.

Le cas du charbon est, il faut le reconnaître, un peu différent. Il y en a encore beaucoup sur Terre, dans beaucoup de pays, y compris dans les gros pays consommateurs de demain (Etats-Unis, Chine, Inde, Brésil, Russie...). Une voie très intéressante, à condition de réussir à la développer, consiste à essayer de piéger le CO₂ provenant de sa combustion, pour le stocker de façon stable (on dit : le *séquestrer*) à grande profondeur sous terre ou sous la mer. Ce serait le « charbon propre ». On n'a pas encore démontré que ce soit possible à long terme. Des recherches sont en cours pour explorer cette voie. *La Recherche* du 1^{er} septembre évoque un risque de fuite induit par une évolution du pH des roches voisines du stockage souterrain. Par ailleurs, pour piéger le CO₂, le transporter jusqu'au site idoine, et l'y stocker, le « séquestrer », il faudra dépenser de l'énergie (pompage, compression, etc.). On ne pourra utiliser ces techniques de charbon propre que là où cette quantité d'énergie ne sera pas importante par rapport au contenu énergétique du charbon ; sinon, ce serait, bien sûr, un travail de Gribouille ! Mais ne soyons pas négatifs aujourd'hui ! Le charbon propre reste une voie d'espoir, du moins pour alimenter les usines, en particulier les centrales thermiques.

[Retour au sommaire](#)

Que reste-t-il d'autre ?

- Les gens les plus optimistes se disent que l'homme a toujours su trouver les idées permettant de résoudre ses problèmes fondamentaux. Il inventera bien de nouvelles techniques après celles de « l'atome » ! Certains disent même : en lieu et place de l'atome !
- Les gens prudents pensent que c'est loin d'être certain. *Donc il faut perfectionner les techniques nucléaires existantes ou déjà à l'étude, pour qu'elles puissent apporter le*

¹⁹ Cette locution veut dire : comment dépenser le minimum d'énergie pour obtenir un résultat donné (par exemple pour transporter deux personnes de 70 kilos sur 100 kilomètres à plat, ou pour chauffer à 19°C une maison de 120m² habitables) ?

²⁰ 84 % des Français plébiscitent le renouvelable, et 77 % les économies d'énergie, d'après un sondage BVA pour Agir pour l'environnement (*Libération* du 29 juillet).

plus longtemps possible à l'humanité une part de l'énergie dont elle a besoin (presque sans CO₂).

C'est évidemment pourquoi nous nous intéressons dans ce numéro au nucléaire à moyen et long terme. Et nous commencerons notre exposé par le terme sans doute le plus lointain !

[Retour au sommaire](#)

2.2.2. La fusion

La fusion, c'est l'énergie produite dans les étoiles, en particulier dans notre soleil. N'essayons pas d'expliquer ici la physique de la fusion ! Il faut, pour qu'elle ait lieu, des températures gigantesques (cent millions de degrés) et des densités de confinement de matière très élevées²¹. C'est dire que les matériaux existants (ou qu'on sait fabriquer) sur la Terre, dont aucun n'est encore solide à 5000°C, souffriront énormément. Il y a des difficultés technologiques majeures à résoudre. L'objectif est de concevoir, construire et entretenir des moyens artificiels pour obtenir les conditions de densité et de température de plasma, recueillir la chaleur dégagée par la réaction de fusion, et en faire de l'électricité, à l'échelle industrielle et de façon économique²².

Nous sommes heureux que la machine internationale *ITER* se construise en France, à Cadarache, mais il faut bien comprendre que ce sera une *machine de laboratoire*. Ce ne sera nullement un petit prototype de ce que deviendrait une machine industrielle. Même si *ITER* était un succès en laboratoire, ce ne serait aucunement la preuve qu'on pourra ensuite franchir avec succès l'étape de l'industrialisation. Produire des miracles technologiques toute l'année, disons 80 % du temps, est-ce que cela deviendra possible, et de façon économique ? Ce n'est pas du tout évident.²³

Heureusement, les hommes ont déjà en tête des pistes qui semblent beaucoup moins éloignées de leur aboutissement, pour produire de l'énergie à grande échelle lorsque les ressources en combustibles fossiles et même en uranium deviendront beaucoup plus rares. Ces pistes sont dans le domaine de l'énergie nucléaire.

[Retour au sommaire](#)

2.2.3. Forum International Génération IV

Oui, de très nombreux chercheurs avaient des idées sur le grand futur ! Mais développer un projet demande tant de travail et de moyens que la collaboration internationale est apparue à tous indispensable. Ainsi est né le Forum International Génération IV. L'initiative en revient, en 2000, au ministère de l'énergie des Etats-Unis. Le Forum International Génération IV est né formellement en 2001. Aujourd'hui il réunit l'Afrique du Sud, l'Argentine, le Brésil, le Canada, la Corée du Sud, les Etats-Unis, la France, le Japon, le Royaume-Uni et la Suisse, ainsi que l'Union Européenne.

Il s'est fixé des objectifs qui sont énoncés ci-dessous (§ 2.2.3.1), et il a identifié six grands projets, six grands « systèmes » (§ 2.2.3 2 et annexe). Pour chacun d'entre eux, il y aura d'une part un réacteur, et d'autre part le combustible qui devra l'alimenter, les moyens de le

²¹ C'est la masse de l'étoile, du soleil, considérable par rapport à celle de la Terre, qui fait que les forces de gravité sont énormes et la pression en leur cœur est suffisante pour que la fusion se produise naturellement.

²² L'expérience sur Terre de la fusion, jusqu'ici, ce sont les bombes H, et, dans le domaine civil, des machines de recherche qui ont précédé *ITER*.

²³ On trouvera des explications plus détaillées dans le numéro 14 de *Remettre sur les rails*, de février 2004, § 2.1.

produire et les moyens de s'accommoder des déchets de la filière. Un projet, c'est la recherche et le développement de tout cela.

Bernard Dupraz, d'EDF, écrivait dans la *Revue Générale Nucléaire (RGN)* de juillet – août 2003 : *Il s'agit d'être en capacité de disposer à l'horizon 2025 des modèles éprouvés de Génération IV, qui pourront, à l'horizon 2035, prendre le relais de Génération III+²⁴*. Cela veut dire qu'on espère avoir accumulé suffisamment d'expérience (par des pilotes, puis des réacteurs de démonstration), pour pouvoir, vers 2030, commencer à lancer la construction à grande échelle de réacteurs pour une exploitation industrielle rentable vers 2035. Le Président Chirac a d'ailleurs voulu hâter le pas en annonçant le lancement d'un réacteur de 4^{ème} génération en France en 2020. Comprenez : un prototype, dont le fonctionnement pendant quelques années permettra des progrès vers la définition d'une version industrielle rentable.

2.2.3.1. Les objectifs

Les « objectifs de premier rang » que se sont assignés les membres du Forum International Génération IV sont :

- de pouvoir fournir de l'énergie sur une très longue durée en respectant l'atmosphère et en maîtrisant la production et le devenir de leurs déchets,
- d'avoir un coût avantageux par rapport aux autres sources d'énergie, avec un niveau de risque financier qui ne soit pas supérieur,
- d'avoir un excellent niveau de sûreté et de fiabilité,
- de ne présenter aucun caractère intéressant pour ceux qui pourraient être tentés de subtiliser des matières nucléaires à des fins militaires, et d'être dotés d'une protection physique accrue contre les actes de terrorisme.

Philippe Pradel, Directeur de l'énergie nucléaire au CEA, dit d'une façon plus accessible (*France info* le 10 octobre) : *La génération IV cherche à viser de véritables ruptures principalement pour répondre à trois grands objectifs : un objectif d'économie des ressources naturelles, un objectif de minimisation des déchets et un objectif de diffusion large de l'électronucléaire de façon à lutter contre les rejets de gaz à effet de serre. Son objectif clairement assigné, c'est, avec la même quantité d'uranium naturel, de produire 50 fois plus d'électricité que les réacteurs actuels. Les réacteurs actuels opèrent avec de l'eau, mais il n'est pas possible avec ce fluide d'obtenir le gain de 50 fois, il faut d'autres types de fluides qui peuvent être le gaz ou des métaux liquides. Donc c'est une réelle rupture en cette matière. On a internationalisé la recherche de façon à justement pouvoir mener à [leur] terme plusieurs pistes et choisir, le moment venu, celle qui sera, ou celles qui seront, les plus efficaces.*

Il est exact que la production d'hydrogène²⁵, le dessalement de l'eau de mer, et la production de chaleur pour des applications industrielles, voire le chauffage urbain, figurent parmi les objectifs des projets Génération IV, en plus de la production d'électricité.

[Retour au sommaire](#)

2.2.3.2. Les six systèmes

Nous indiquons très brièvement en annexe quels sont les six systèmes sur lesquels les pays membres se sont accordés. Vous observerez en parcourant nos explications que presque tous

²⁴ Génération III+ veut dire ici : l'EPR.

²⁵ envisagé pour remplacer le pétrole, par exemple avec la technique des piles à combustibles

prévoient de retraiter le combustible usé pour recycler ce qui peut l'être, et que trois et demi sur six (trois plus une des versions du quatrième) sont fondés sur des réacteurs à neutrons rapides. L'intérêt déterminant des neutrons rapides est de valoriser l'uranium 238, le composant majeur (99,3%) de l'uranium naturel. Quand l'uranium 235 se fera rare (ce qui n'est pas encore le cas, mais il faut y penser dès maintenant), il sera précieux de savoir valoriser l'uranium 238, à commencer par les centaines de milliers de tonnes d'uranium appauvri, sous-produits des usines d'enrichissement.

La France s'intéresse surtout aux systèmes de réacteur à très haute température refroidi au gaz (à neutrons thermiques), et de réacteurs à neutrons rapides refroidi au gaz et refroidi au sodium.

Il paraît essentiel pour l'avenir de faire en sorte que cette recherche se développe activement, et il faut se réjouir que le président de la république ait donné une vigoureuse impulsion aux travaux de la France pour les réacteurs de 4^{ème} génération.

[Retour au sommaire](#)

2.2.4. Réacteurs de 3^{ème} génération. L'EPR

2.2.4.1. L'EPR

Il n'est plus nécessaire de présenter l'EPR, l'European Pressurised water Reactor. Aux Etats-Unis, ce sera l'Evolutionary Power Reactor ! On en parle depuis plusieurs années dans la presse nationale et internationale.

Vous savez que la Finlande en a commandé un. Son cahier des charges exigeait que le réacteur résiste au crash d'un gros avion commercial sans créer d'accident majeur pour la population. La conception du réacteur a été renforcée pour offrir cette garantie supplémentaire de sûreté. La construction du réacteur a pris un an de retard sur le planning très sévère fixé par le client. Visiblement l'Autorité de sûreté finlandaise a des méthodes qui ont surpris Areva et augmentent les délais, parfois les coûts. En même temps, on peut se dire que lorsque l'on aura franchi toutes les haies du parcours d'obstacles que constitue la construction en Finlande, on aura apporté une véritable preuve de la qualité du produit fourni.²⁶

Nous parlerons un peu plus loin de la commande d'EDF pour Flamanville 3. Evoquons d'abord l'immense intérêt que soulève l'EPR dans le monde, ne serait-ce qu'aux Etats-Unis où a été constituée l'association d'Areva avec Constellation Energy, appelée UniStar International, pour commercialiser l'EPR, version adaptée aux Etats-Unis. Qui peut soutenir aujourd'hui, comme le faisaient nos antinucléaires, que l'EPR est dépassé !

En France, EDF a obtenu le permis de construire et passe commande à toutes sortes de fournisseurs pour les diverses parties du réacteur. Le groupe turbo-alternateur est confié à Alstom, au lieu de Siemens pour le réacteur finlandais. La construction proprement dite ne

²⁶ Il est incroyable que Corinne Lepage ait déclaré à France Culture le 19 octobre : « Vous avez vu que les Finlandais sont en train de faire beaucoup d'observations techniques à Areva, et c'est une des raisons du retard [jusqu'ici, ce n'est pas faux], notamment parce que la principale innovation de l'EPR consiste à mettre une espèce de soucoupe, si vous voulez, sous la centrale, de manière à recueillir le cœur du réacteur s'il se passait une affaire comme Tchernobyl, et les Finlandais ne veulent pas en entendre parler en considérant que c'est extrêmement dangereux, c'est là quasiment la principale innovation de l'EPR ». C'est pure invention. Ce dispositif est parfaitement accepté par les Finlandais, comme un élément de sûreté.

pourra démarrer sur le site qu'après l'obtention du décret d'autorisation de création. Mais le terrassement est commencé.

On peut toujours contester un planning tel que celui-ci : on veut avoir tant d'expérience d'exploitation de l'EPR avant d'en lancer la construction à grande échelle, ce dont on aura besoin à telle date. Nous pensons que lancer Flamanville maintenant est effectivement très utile. Mais il est deux autres raisons majeures pour lesquelles il faut lancer sans tarder la construction d'un EPR en France :

- On va très bientôt manquer de capacité de production d'électricité. *..Réseau de transport d'électricité (RTE), le gestionnaire du réseau de transport en France, a déjà mis en garde : à l'horizon de 2009, la France risque de manquer de 1000 mégawatts par an (Le Figaro du 25 juillet). Chaque année, 1000 nouveaux mégawatts viendront à manquer.*
- Pour construire de nouvelles capacités de production nucléaires, on ne peut absolument pas attendre, comme le pensent tant d'hommes politiques, l'arrivée à maturité des réacteurs à neutrons rapides de 4^{ème} génération. En effet, il faut impérativement accumuler, pour constituer les deux premiers cœurs de chaque réacteur de ce type, un stock important de plutonium (14 tonnes par tranche de 1000 MWe), et cela ne peut se faire que dans des réacteurs à eau. 14 tonnes, cela représente environ la quantité de plutonium produite par un réacteur à eau pressurisée de même puissance durant 50 à 60 années de fonctionnement. Même si l'on construit effectivement à partir de 2030 des réacteurs à neutrons rapides de 4^{ème} génération, *il faudra faire fonctionner en parallèle des réacteurs à eau jusque vers 2080 (et même peut-être certains jusqu'à la fin de ce siècle) et retraiter les éléments combustibles usés au moment où l'on aura besoin du plutonium qu'ils contiendront. Impossible, bien sûr, de faire durer jusque là les réacteurs de 2^{ème} génération actuellement en service ! Il faut donc construire des réacteurs à eau aussi modernes que possible : des EPR, cela ne fait aucun doute.*

Que les antinucléaires n'aient pas fait ce raisonnement, cela se comprend. Mais pensons à ceux qui reconnaissent qu'on aura besoin du nucléaire, et croient qu'on peut attendre les réacteurs de 4^{ème} génération. Ce qu'on vient de voir démontre qu'ils commettent une erreur majeure ! Pourquoi les responsables français du nucléaire ne l'expliquent-ils pas clairement, sauf dans des congrès de spécialistes ? Sans doute parce qu'ils ont toujours la crainte de parler des réacteurs à neutrons rapides, vu les réactions rencontrées avec Superphénix.

Nous pensons au contraire que, si l'on veut convaincre, il faut tout dire, tout expliquer ! Il faut que ressorte la logique du nucléaire qu'on prépare.

[Retour au sommaire](#)

2.2.4.2. Réacteurs de 3^{ème} génération de 1000 MWe

Areva vient de conclure un accord industriel très important avec le Japonais Mitsubishi Heavy Industries (en abrégé : Mitsubishi Heavy). L'un des objectifs de l'accord est de concevoir ensemble un réacteur de 3^{ème} génération de 1000 MWe²⁷, donc plus petit que l'EPR (qui a, lui, une puissance de 1600 à 1650 MWe). En effet, il y a un marché important pour cette taille de

²⁷ L'AFP, le 19 octobre, écrivait : Areva et [Mitsubishi Heavy] travaillent sur un réacteur de ce type depuis plusieurs années, jusqu'à présent chacun de leur côté. "Nous allons rapprocher ce que nous avons déjà fait, prendre le meilleur de chaque côté et développer un marketing commun pour le vendre", a expliqué Mme Lauvergeon, selon qui, « en partant de l'état d'avancement où nous en sommes de part et d'autre, nous irons beaucoup plus vite que si nous partions de zéro ».

réacteur, différent du marché de l'EPR. Mitsubishi Heavy a déjà une expérience nucléaire considérable des réacteurs à eau pressurisée, puisque c'était jusqu'à une date récente l'associé de Westinghouse. Lorsque Westinghouse a été mis en vente, Mitsubishi Heavy a fait une offre pour l'acheter, mais c'est son grand concurrent Toshiba qui l'a emporté.

Notons que Westinghouse – Toshiba offre déjà sur le marché un réacteur de 3^{ème} génération de 1000 MWe, qui s'appelle AP1000, et qui a été certifié aux Etats-Unis par la Nuclear Regulatory Commission (NRC).

En annonçant l'accord avec Mitsubishi Heavy (*France Info* le 20 octobre), Anne Lauvergeon a précisé : *ce réacteur, nous le vendrons, non seulement au Japon, mais aussi dans le reste du monde, c'est-à-dire dans tous les pays qui acceptent les disciplines des Nations Unies, c'est-à-dire d'être contrôlés dans tout ce qu'ils font. Ca, c'est la condition que nous mettons à la vente de nos produits et de nos services.*

[Retour au sommaire](#)

3. Remises sur les rails sur des sujets divers

3.1. EPR de Flamanville: Manoeuvre des opposants

Les Verts, comme en 1997 pour Superphénix, veulent monnayer leur soutien au parti socialiste contre l'arrêt du projet de Flamanville 3. Ils prétendent que l'on n'a pas besoin de ce réacteur.

On a vu au paragraphe 2.2.4.1 pour quelles raisons il faut s'opposer vigoureusement à ce point de vue.

Les antinucléaires de France en sont ainsi réduits à tenter de faire arrêter les travaux pour qu'ils ne soient pas trop engagés avant les élections de 2007. Dans cet espoir, ils (six associations) ont attaqué Areva en référé: *"Les travaux de terrassement ont été engagés en août, soit avant l'avis favorable de la commission d'enquête publique, publié le 29 septembre, et également avant que le gouvernement n'autorise par décret la création de l'EPR", a déclaré à l'AFP le porte-parole du réseau Sortir du nucléaire. (Le Moniteur expert.com, 13 octobre 2006).*

Les plaignants viennent d'être déboutés (*Reuters* le 26 octobre).

3.2. Est-il raisonnable de parler d'une manipulation du Professeur Pellerin ?

Le Monde du 13 juillet titrait en première page : *Tchernobyl : la manipulation de M. Pellerin*, et en page 8 : *Tchernobyl : Pierre Pellerin dédouané... par lui-même.*

La base de l'article repose sur des écoutes téléphoniques. Elles ont, semble-t-il, montré que l'article signé de MM. Coursaget, Galle et Paulin, envoyé à l'Académie des Sciences et expliquant l'action du Professeur Pellerin à l'époque de l'accident de Tchernobyl, avait été écrit, pour l'essentiel, par le Professeur Pellerin lui-même. Il aurait dit : *« Galle et Coursaget ont fait un travail de relecture. Toute la partie technique, c'est moi qui l'ai faite, et je ne signe pas pour la bonne raison que si j'avais signé, [l'article] n'aurait pas été accepté ».*

L'article du *Monde* dans son ensemble est ironique et tendrait à faire passer le Professeur Pellerin pour un homme malhonnête.

Le commentaire de *Remettre sur les rails* est le suivant : Si l'on avait vu des scientifiques s'élever pour contredire certaines assertions de cet article, on pourrait critiquer. Mais ceux qui suivent de près les informations sur le sujet de Tchernobyl savent bien qu'on n'a lu rien de tel ! Si le Professeur Pellerin a trouvé, par cet article, le moyen d'expliquer à tous comment il avait construit sa connaissance des répercussions de Tchernobyl en France, et son raisonnement pour aboutir aux communiqués à la presse et aux prescriptions sanitaires, alors soyons-lui reconnaissants de l'avoir fait ! Cet article est extrêmement intéressant !

Encore une fois, attendons le jugement du procès !

[Retour au sommaire](#)

ANNEXE

Les six systèmes de Génération IV

[Retour au sommaire](#)

Les six systèmes sélectionnés comme ayant de très bonnes chances de répondre aux objectifs, sont les suivants :

- Système à réacteur à *neutrons rapides* refroidi au gaz (hélium), et à « cycle du combustible fermé », ce qui veut dire : où l'on prévoit que les combustibles usés soient retraités sur le site même du réacteur, et de recycler uranium, plutonium et actinides mineurs. On lit sur le *Site Internet de l'Agence de l'Energie Nucléaire de l'OCDE*²⁸ (OCDE/AEN) : *Les principales difficultés que présente ce système concernent : la mise au point de nouveaux combustibles et matériaux capables de supporter une température de 850°C, la conception du cœur et la turbine fonctionnant à l'hélium.*
- Système à réacteur à *neutrons rapides* refroidi au plomb (ou par un alliage liquide plomb-bismuth), également à cycle fermé. On lit sur le même site : *Les principaux obstacles à surmonter sont la manipulation du plomb ou de l'alliage de plomb ainsi que la mise au point de combustible et matériaux adaptés à un fonctionnement dans une plage de température de 550-800°C.*
- Système à réacteur à *neutrons rapides* refroidi au sodium, également à cycle fermé. On reconnaît là le système de Superphénix. Le but est de faire mieux et plus simple que Superphénix pour améliorer le coût d'investissement tout en faisant encore mieux en matière de sûreté.
- Système de réacteur refroidi à l'eau supercritique (ce terme a une signification physique précise ; il implique une haute pression²⁹ et une température de 550°C), avec deux versions : *neutrons rapides* ou neutrons thermiques. Le site de l'OCDE/AEN indique : *La corrosion des matériaux et la chimie de l'eau vers 500-550°C, mais aussi la mise au point de matériaux adaptés, sont les principaux problèmes à résoudre.*
- Système à réacteur à sels fondus, où un mélange de substances chimiques appelées « sels » est à la fois le combustible et le fluide caloporteur. Ce mélange est retraité en ligne, l'uranium, le plutonium et les actinides mineurs sont recyclés. Les neutrons sont « épithermiques », ce qui veut dire : un peu plus énergétiques, un peu moins ralentis, que ceux de nos réacteurs à eau actuels, mais ce ne sont pas des neutrons rapides. *La chimie et la manipulation des sels fondus et la mise au point des matériaux sont les principaux défis à relever dans le cas de ce système dont la température de fonctionnement se situe entre 700 et 800°C.*
- Système à réacteur à très haute température refroidi au gaz (hélium), dédié à la production d'hydrogène ou à la co-génération hydrogène/ électricité. Le réacteur est à neutrons thermiques comme nos réacteurs à eau actuels. Vu la nature des matériaux actuellement envisagés, on s'attend à des difficultés pour retraiter les éléments combustibles usés. C'est pourquoi, contrairement à tous les autres systèmes, on ne prévoit pas de le faire, du moins au départ. Ce n'est cependant pas exclu. *On vise pour le réacteur des températures de fonctionnement supérieures à 1000°C, ce qui n'est pas sans soulever d'importantes difficultés dues à la nécessité de concevoir des combustibles et matériaux adaptés et de préserver la sûreté dans des conditions transitoires, dit le site OCDE/AEN.*

²⁸ L'OCDE/AEN s'est vu confier le secrétariat technique du Forum International Génération IV. Nous pensons que c'est un point positif car c'est un organisme qui regroupe les pays les plus industrialisés, et qui a une très grande habitude de gérer des échanges internationaux sur les questions nucléaires.

²⁹ 25 MPa, 25 mégapascals