



L'EPR. Sa place dans le nucléaire

Finlande

Flamanville

Abou Dhabi

Gamme de réacteurs

**À CHAQUE ÉNERGIE
SA PLACE !**



ENERGIES ET MEDIAS N° 31

Février 2010

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

SOMMAIRE

1. La conjoncture, pour le nucléaire.....	2
2. L'EPR. Sa place dans le nucléaire.....	4
2.1 Les générations successives de réacteurs utilisant la fission. Un jour, la fusion ?.....	4
2.1.1 Les réacteurs de 2ème génération	4
2.1.2 Les réacteurs de 3ème génération.....	4
2.1.3 Le 11 septembre.....	5
2.1.4 Les réacteurs de 4ème génération.....	6
2.1.5 La fusion nucléaire.....	8
2.2 Le nucléaire nécessite une vision à très long terme.....	8
2.2.1 Le thorium.....	9
2.2.2 Préparation d'une relève par les réacteurs à neutrons rapides.....	9
2.3 L'EPR en Finlande, à Flamanville, et l'échec d'Abou Dhabi.....	10
2.3.1 Olkiluoto 3, l'EPR de Finlande.....	10
2.3.2 Flamanville.....	11
2.3.3 Le système de contrôle – commande de l'EPR.....	12
2.3.4 L'échec d'Abou Dhabi.....	13
2.4 L'offre française.....	14
2.4.1 Les acteurs.....	14
2.4.2 Disposer d'une gamme de réacteurs.....	15
2.5 Conclusion.....	15

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.

Document également consultable sur le site <http://www.uarga.org>

1. La conjoncture, pour le nucléaire

Le fait essentiel de ces quatre derniers mois se passe aux Etats-Unis. Alors qu'il était jusqu'ici très évasif quant au nucléaire, le Président Obama, dans son discours sur l'état de l'Union, a explicitement dit qu'il fallait *construire une nouvelle génération de centrales nucléaires sûres et propres*. Citons *Les Echos* du 2 février : *L'administration Obama a décidé de tripler les garanties de*

prêts pour de nouveaux réacteurs, qui vont passer de 18 milliards à 54 milliards de dollars. ... Elle a aussi fixé sa cible de réduction de gaz à effet de serre pour 2020 à 28 %, un objectif dans lequel le nucléaire a évidemment toute sa part.

Il faut voir dans ces annonces les éléments d'un marchandage politique avec les républicains. Le président veut qu'ils votent en faveur de sa réforme sur l'énergie et le climat ; en échange, il leur offre des concessions sur le nucléaire ... Le ministre de l'énergie, Stephen Chu, a aussi, enfin, nommé les membres de la haute commission chargée d'étudier toutes les voies possibles de gestion des déchets - c'est-à-dire essentiellement des éléments combustibles usagés -, et aussi, de proposer un ou plusieurs sites pour remplacer Yucca Mountain pour le stockage des déchets. Il est naturellement très important d'avancer sur ce sujet car, sans être certain qu'une solution sera disponible pour les gérer, il sera très difficile pour un investisseur de se lancer.

La Chine entame 2010 en fanfare, titre Enerpresse du 13 janvier. Le premier AP1000¹ de Westinghouse construit en Chine... porte à 12 le nombre de tranches nucléaires en cours de construction dans le pays, pour plus de 11 000 MW². Parmi ces 12 se trouve aussi le premier des deux EPR³ dont la commande à EDF et Areva a été définitivement signée.

La Chine a passé commande à la Russie d'un réacteur rapide au sodium de 800 mégawatts, semblable à celui qui est en construction dans ce pays (*Challenges* du 11 février).

L'Italie a pour objectif d'avoir mis en service 8 réacteurs d'ici 2020, dont sans doute 4 EPR (Enel en association avec EDF). Après la loi sur le nucléaire, le décret d'application a été signé, fixant toute une série de modalités. Mais la création de la future autorité de sûreté n'est pas encore intervenue. Le choix des sites reste à faire. Avant les élections régionales se manifeste pas mal d'opposition des régions. On verra si la situation s'éclaircit après ! Un sondage indique que six Italiens sur dix sont favorables au développement du nucléaire dans leur pays (*Corriere della Sera* du 15 février).

Au Royaume-Uni diverses dispositions sont prises pour faciliter la décision d'investir dans le nucléaire. EDF Energy souhaite construire 4 EPR. RWE et E'ON voudraient construire ensemble des réacteurs pour une puissance de 6000 mégawatts. Le groupement GDF Suez + Iberdrola + Scottish & Southern Energy cherche à en construire un ou deux, jusqu'à 3600 mégawatts. L'autorité de sûreté vise la fin 2011 pour octroyer la licence aux deux réacteurs de 3^{ème} génération EPR et AP1000 ; s'ils réussissent leur examen de passage !

Terminons ce tour non exhaustif par l'Allemagne. La chancelière Angela Merkel s'est fixé comme objectif de proposer un projet (un « concept ») global sur la production d'énergie, cet automne. C'est sans doute une façon d'éviter de se prononcer avant les prochaines élections régionales, entre son ministre de l'environnement (pourtant CDU) qui souhaite fermer les centrales le plus tôt possible pour n'utiliser ensuite que les énergies renouvelables, et les libéraux du FDP, en particulier le vice-chancelier, qui voudraient prolonger jusqu'à 60 ans les centrales jugées sûres (comme conclu dans le contrat de gouvernement). Ainsi des alliances CDU – Verts pourraient être nouées ou reconduites dans certaines régions !

On parlera de France et d'Abou Dhabi au chapitre 2.

[Retour sommaire](#)

¹ AP1000 : réacteur de 1100 mégawatts (1 100 000 kilowatts) à eau pressurisée de 3^{ème} génération, construit par Toshiba - Westinghouse

² 11 000 MW, 11 000 mégawatts, soit 11 millions de kilowatts

³ EPR, le réacteur d'Areva de 1600 mégawatts, de 3^{ème} génération

2. L'EPR. Sa place dans le nucléaire

Tous les médias parlent de l'EPR, réacteur franco-allemand de 3^{ème} génération. Le temps où beaucoup contestaient l'utilité d'en construire semble être passé car il soulève un grand intérêt dans le monde. Mais aujourd'hui, où les chantiers de construction nous montrent quelquefois des difficultés, les critiques se multiplient. Et la victoire des Sud-Coréens à Abou Dhabi est accueillie avec des sarcasmes quant à l'échec de la France.

C'est le moment, pour *Energies et Médias*, de mettre tout cela en perspective.

Dans une première partie, il paraît utile de rappeler très brièvement ce qu'est cette 3^{ème} génération, ce qu'ont été la 1^{ère} et la 2^{ème}, et ce que l'on prépare dans la 4^{ème}, puis éventuellement avec la fusion nucléaire.

Dans une deuxième partie, on verra qu'il est indispensable, dans le nucléaire, d'avoir une vision à très long terme, et on fera ressortir une considération universelle mal connue.

Dans la troisième partie, comme promis, on mettra en perspective les inquiétudes exprimées quant à l'EPR par de nombreux médias.

Dans une courte 4^{ème} partie, on dira quelques mots de notre situation pour aborder le marché.

2.1 Les générations successives de réacteurs utilisant la fission. Un jour, la fusion ?

2.1.1 Les réacteurs de 2^{ème} génération

La 1^{ère} génération de réacteurs, c'étaient ceux de diverses filières pionnières dans le monde. En France c'étaient les réacteurs utilisant l'uranium naturel sans enrichissement : nous n'avions pas d'usine d'enrichissement et nous voulions ne dépendre de personne. La contrepartie était un très gros volume de combustible, et tout le réacteur à l'avenant. Le prix du kilowattheure était élevé.

Les réacteurs de 2^{ème} *génération*, en particulier à eau bouillante ou les réacteurs à eau pressurisée qu'on exploite en France depuis les années 1970, ont donné les plus grandes satisfactions dans le monde, y compris du point de vue de la sûreté. Celle-ci repose sur les caractéristiques propres au réacteur, bien sûr. Elle repose aussi sur un système de *défense en profondeur* qui inclut la *culture de sûreté* du personnel, et l'existence d'une autorité de sûreté nationale indépendante de l'exploitant, ayant tout pouvoir pour autoriser, refuser si nécessaire, la construction, la mise en exploitation des installations nucléaires, d'en ordonner l'arrêt, etc...

[Retour sommaire](#)

2.1.2 Les réacteurs de 3^{ème} génération

La 3^{ème} génération de réacteurs est née de l'idée suivante :

<p><i>Même en cas d'accident très grave, la sûreté devrait rester assurée sans qu'on ait besoin de déplacer la population.</i></p>
--

Pour la 3^{ème} génération de réacteurs qu'on allait construire désormais, on a décidé que, si peu probable qu'il soit, l'accident menant à la fusion complète du cœur serait pris en compte dans la conception. Par exemple, dans l'EPR d'Areva, on a ménagé en dessous de la cuve un *réceptacle*

capable de recevoir et de refroidir la matière fondue qui se serait échappée de la cuve. En conséquence tout un ensemble d'organes qui, dans les modèles à eau pressurisée de 2^{ème} génération, se trouvaient sous la cuve devraient désormais être placés ailleurs, au-dessus !

D'autres solutions ont été conçues pour l'AP1000 chez Toshiba – Westinghouse, et pour l'ABWR ou l'ESBWR chez General Electric – Hitachi. Ce sont des réacteurs de 3^{ème} génération. Notons que l'APR 1400 des Sud-Coréens *n'est pas* un réacteur de 3^{ème} génération.

[Retour sommaire](#)

2.1.3 Le 11 septembre

Le 11 septembre 2001... Des tours sont détruites. Et si des terroristes attaquaient de même des réacteurs nucléaires !

Les chances qu'ils réussissent seraient extrêmement faibles, car un réacteur de 2^{ème} ou 3^{ème} génération est tout petit par rapport aux *twin towers* de New York, et un terroriste qui ne serait pas pilote professionnel aurait du mal à viser ; de plus, l'épais béton de l'enceinte de confinement constituerait déjà une protection, sauf peut-être en cas d'impact parfait, perpendiculaire à la paroi. Oui, mais cette improbabilité ne donne pas de certitude ! La Finlande, puis les autres pays industrialisés, se sont dit que *les réacteurs qu'on construirait désormais devraient être conçus pour résister à l'impact d'un gros avion de ligne chargé de kérosène !*

L'EPR et ses concurrents se voient imposer en plus cette amélioration. On peut dire qu'un réacteur de 3^{ème} génération n'est, ou ne sera agréé par l'autorité de sûreté nationale dans les pays comme les Etats-Unis, le Royaume-Uni, la France, la Finlande, etc..., que si le cas de la chute d'un gros avion de ligne peut être considéré comme traité de façon satisfaisante. L'EPR a résolu le problème : ce sont les autorités de sûreté qui ont fait savoir qu'elles approuvent les solutions apportées par Areva. Les éléments principaux sont :

- le renforcement de l'enceinte de confinement en béton (qui était déjà doublée dans les modèles récents de la 2^{ème} génération), donc deux épaisseurs de 130 centimètres de béton dotées d'un ferrailage renforcé, séparées par une épaisseur de vide ;
- une conception des bâtiments annexes où les organes de secours destinés à intervenir en cas d'accident sont répartis dans quatre bâtiments (tous protégés contre l'impact d'un gros avion) situés aux quatre points cardinaux autour du réacteur, de telle sorte qu'un avion qui percuterait l'un ne pourrait pas percuter les trois autres. Un seul qui resterait en état suffirait pour assurer les fonctions vitales.

Les concurrents de l'EPR : Toshiba – Westinghouse pour l'AP1000 et General Electric – Hitachi pour l'ABWR , n'ont pas encore résolu ce problème de l'impact d'avion. L'autorité de sûreté britannique vient d'émettre des doutes et de demander pour l'AP1000 qu'on lui apporte des preuves que le réacteur tiendrait aux séismes, à de gros chocs climatiques, ou à la chute d'un gros avion (The Times du 17 février).

L'EPR est ainsi un réacteur particulièrement remarquable, composé des savoir-faire français et allemand en matière de réacteurs à eau pressurisée, et fruit d'une recherche exceptionnelle en matière de sûreté. « Evolutionnaire », « Evolutionary Pressurised water Reactor » en anglais : voilà des néologismes qui expriment bien que l'EPR est fondé essentiellement sur des technologies existantes, ce qui peut inspirer confiance. Il est doté d'un rendement meilleur que les réacteurs de 2^{ème} génération qui l'ont précédé. De plus, il est capable, pour les clients que cela intéresse, de

consommer 100 % de combustible Mox⁴, alors que cette proportion n'est que de 30 % dans nos réacteurs de 900 mégawatts de 2^{ème} génération.

[Retour sommaire](#)

2.1.4 Les réacteurs de 4^{ème} génération

Le nucléaire n'est pas la seule solution pour l'avenir pour produire de l'électricité ou de la chaleur, il faudra mettre en œuvre une variété de technologies. Mais de plus en plus de pays s'engagent dans des programmes nucléaires, persuadés qu'il n'y a pas de solution à long terme sans nucléaire.

Ils sont aujourd'hui 12 pays⁵, tous les principaux acteurs du nucléaire au monde, plus l'Union Européenne, à participer au Forum International Génération 4 (ou Génération IV).

Ce forum international, créé en 2001 à l'initiative des Etats-Unis, s'est fixé comme objectifs de définir les filières (ou « systèmes ») nucléaires du futur méritant un gros effort international, et de mener les études de base sur ces systèmes : réacteur et combustible. Les objectifs sont naturellement : sécurité et sûreté maximales, minimisation des déchets, résistance optimale au risque de prolifération⁶, minimisation des coûts. Mais l'objectif majeur est de *se préparer à la raréfaction future de la ressource en uranium* (voir ci-dessous § 2.2).

Philippe Pradel, à l'époque Directeur de l'énergie nucléaire au CEA, expliquait tout cela de façon plus concrète :

*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.*

La production d'hydrogène⁷, 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.

Sur les six systèmes sélectionnés par les membres du forum, comme ayant le maximum d'intérêt (mais avec des chances assez inégales d'aboutir), « trois et demie » sont à neutrons rapides :

⁴ Mox : mélange d'oxydes d'uranium et de plutonium.

⁵ Afrique du Sud, Brésil, Canada, Chine, Corée du Sud, Etats-Unis, Fédération de Russie, France, Inde, Japon, , Royaume-Uni, Suisse

⁶ Prolifération des armements nucléaires. On cherche en particulier à rendre le détournement de matières nucléaires le plus difficile possible.

⁷ envisagé pour remplacer le pétrole, par exemple avec la technique des piles à combustible

- le réacteur rapide refroidi au sodium,
- le réacteur rapide refroidi au gaz,
- le réacteur rapide refroidi au plomb,
- ainsi qu'une des deux versions d'un quatrième système⁸.

[Retour sommaire](#)

Une chose, en effet, est claire pour tous :

*Les réacteurs à neutrons rapides,
en permettant de « brûler » l'uranium 238
qui représente 99,3 % de tout uranium naturel,
plus de 99,5 % de l'uranium appauvri sous-produit de l'enrichissement,
et plus de 99 % de l'uranium de retraitement⁹,
peuvent être la clef d'une production d'énergie pour plusieurs millénaires.*

Les réacteurs à neutrons rapides permettent aussi de *minimiser les déchets*. Les neutrons rapides peuvent, en effet, fissionner, brûler :

- *toutes les sortes, tous les isotopes, non seulement d'uranium, mais de plutonium*, alors que nos réacteurs de 2^{ème} et 3^{ème} générations ne peuvent fissionner Pu 240 et Pu 242, deux isotopes qui se forment en quantité croissante avec le temps d'irradiation en même temps que les isotopes 239 et 241 fissiles, et restent mélangés à eux lors du retraitement jusqu'au recyclage,
- *les « actinides mineurs » (neptunium, américium, curium)* qui sont des déchets dans nos réacteurs de 2^{ème} et 3^{ème} générations.

On peut ainsi recycler tous les plutoniums et minimiser les actinides mineurs.

Il est important de faire ressortir que le Forum International Génération IV est loin de partir de zéro. En particulier :

- La France a construit Phénix, 250 mégawatts, réacteur rapide au sodium exploité de 1973 à 2009, et Superphénix, 1200 mégawatts, lancé en 1985, mais malheureusement arrêté définitivement de façon anticipée en 1997 pour des raisons qu'on peut qualifier de politiques : au cours de sa dernière année, il avait fonctionné comme une horloge. (*La Tribune* du 18 février indique que le CEA, EDF, Areva et GDF Suez étudient un prototype de 600 mégawatts bénéficiant des recherches faites dans le cadre du Forum : ASTRID, qu'on espère mettre en service en 2020, pour commencer à construire un réacteur tête de série vers 2030).
- L'URSS, puis la Russie, ont exploité deux gros réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium : BN 350 (350 mégawatts) de 1964 à 1992 et BN 600 (560 mégawatts) en fonctionnement depuis 1980. Un réacteur de 800 mégawatts, BN 800, est actuellement en construction.
- Pour ne pas rallonger cet exposé, nous ne parlerons pas dans ce numéro de la Chine, de l'Inde et du Japon.

De cette expérience très positive résulte l'optimisme des spécialistes quant aux chances de réussir le développement industriel des réacteurs rapides. Naturellement il suppose l'adhésion du public. Celui-ci sera sans doute sensible au fait qu'un tel développement permette de minimiser les déchets.

⁸ Ce quatrième système, à l'eau supercritique, est d'une haute difficulté technologique. (Supercritique est un terme de physique désignant une chose précise. L'état supercritique de la matière est atteint quand, au-delà d'une certaine température et d'une certaine pression, le gaz très comprimé est la même chose que le liquide !). Il est prévu d'étudier d'abord une version à neutrons thermiques, la moins complexe, et de passer à la version à neutrons rapides si l'on a acquis entre temps des éléments qui donnent confiance dans les possibilités de réussir.

⁹ L'uranium de retraitement est l'uranium non consommé restant dans les combustibles usagés, séparé dans les usines de retraitement. La présence de certains isotopes formés au cours de l'irradiation constitue un petit inconvénient dans les réacteurs de 2^{ème} et 3^{ème} générations, mais pas dans les réacteurs à neutrons rapides.

2.1.5 La fusion nucléaire

La fusion est un phénomène nucléaire complètement différent de la fission utilisée dans tous les réacteurs évoqués jusqu'ici dans ce bulletin, et même dans tous les réacteurs nucléaires existant au monde. C'est le phénomène qu'utilise notre soleil pour produire sa chaleur et sa lumière.

Au lieu de casser, de « fissionner », un atome lourd : uranium ou plutonium, on *fusionne* au contraire des atomes légers.
C'est très difficile, mais si l'on réussit, on dégagera une énergie sans commune mesure avec celle que libère la fission.

Il faut, pour que la fusion ait lieu sur la Terre, des températures gigantesques (cent millions de degrés)¹⁰. C'est dire que les matériaux existants (ou qu'on sait fabriquer) - 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 ces conditions 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 économique.

On en est au stade de l'espoir très lointain d'y parvenir.

On peut se réjouir 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.

Il est donc vital de
*poursuivre très activement la recherche et le développement
des réacteurs nucléaires par fission, de 4^{ème} génération.*

[Retour sommaire](#)

2.2 Le nucléaire nécessite une vision à très long terme

Le monde se rend compte de deux choses :

- Les ressources de combustibles fossiles sont limitées et vont devenir de plus en plus chères. Des guerres pourraient avoir lieu si les pays du monde ne se sont pas préparés.
- Les émissions de gaz à effet de serre de par l'activité humaine risquent de faire évoluer le climat à une vitesse bien supérieure à celle des variations purement naturelles survenues de tout temps sur Terre ; le réchauffement à cette vitesse peut être difficile à supporter. L'énergie nucléaire, si elle reste sûre et compétitive, peut contribuer à ralentir ce phénomène puisqu'elle n'émet pas de gaz à effet de serre.

¹⁰ La masse de l'étoile, du soleil, considérable par rapport à celle de la Terre, fait que les forces de gravité sont énormes et la pression en son cœur est suffisante pour que la fusion se produise naturellement. Sur Terre, on ne peut avoir une densité de confinement élevée. Il faut compenser cela en montant à ces températures gigantesques. On est aussi obligé d'avoir recours aux isotopes 2 et 3 de l'hydrogène, qui s'appellent deutérium et tritium. Disposer de tritium en quantités importantes et le faire circuler dans la machine alors qu'il est très radioactif ne sera pas un petit problème.

Effectivement, la participation de grands pays industrialisés au Forum International Génération IV (cf. § 2.1.4) conduit à prévoir que le nucléaire devrait être l'une de ces technologies pendant encore longtemps, pourvu qu'on parvienne à développer, au fil du temps, les systèmes sûrs et dignes de la confiance du public. C'est l'hypothèse vraisemblable qui est faite dans le raisonnement ci-dessous.

Or les ressources en uranium ne sont pas infinies. Heureusement l'énergie nucléaire de fission garde deux cordes à son arc : les réacteurs à neutrons rapides, et le thorium.

2.2.1 Le thorium

Le thorium n'est pas fissile, mais, bombardé par des neutrons, il donne de l'uranium 233 fissile, sur lequel on peut bâtir une industrie nucléaire. Les Indiens, qui détiennent de grosses ressources en thorium et très peu en uranium, s'intéressent à cette voie. Mais pour tous les pays qui se sont engagés dans la voie de l'uranium, le thorium présente de gros inconvénients :

- Ses descendants radioactifs sont très irradiants, ce qui fait que des opérations de son cycle du combustible, à commencer par la mine, présentent une difficulté du point de vue de la radioprotection.
- La production d'une petite quantité d'uranium 232 à côté de l'uranium 233 gêne considérablement le recyclage à cause de ses descendants très irradiants gamma.
- Développer un cycle du thorium représenterait un investissement immense.

Il serait donc compliqué de repartir à zéro avec le thorium. La seule justification possible dans des pays comme le nôtre serait une pénurie d'uranium. Ce n'est pas le cas et ne devrait pas l'être, même à très long terme si le développement économique des réacteurs rapides est une réussite. Ils pourront exploiter les résidus du nucléaire actuel : plutonium et uranium appauvri.

[Retour sommaire](#)

2.2.2 Préparation d'une relève par les réacteurs à neutrons rapides

Les prévisionnistes s'efforcent de préciser, de quantifier les événements à organiser afin que le nucléaire ne fasse pas défaut au moment où l'on en aurait besoin. Or le nucléaire est le contraire de la mode : tout demande des années ! Et même en raisonnant de façon très globale et à l'échelle du monde entier, en particulier sur les matières fissiles à mettre en œuvre, on est obligé de réfléchir au moins sur un siècle.

<p>Il faut envisager diverses hypothèses séparées par de larges marges puisque'on ne peut tout prévoir ! On construit ainsi des « scénarios »¹¹.</p>

Le CEA (Commissariat à l'Energie Atomique rebaptisé récemment Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives), dans une étude prospective, a considéré quatre de ces scénarios de l'IIASA et en a calculé les conséquences. Il a, lui aussi, raisonné à l'échelle du monde. Les enseignements, très résumés, qu'*Energies et Médias* en retient sont les suivants :

- Quel que soit le scénario, *si l'on ne construisait pas de réacteurs à neutrons rapides, les réserves en uranium naturel*¹², y compris celles qu'on peut tirer des gisements de phosphates, *seraient consommées intégralement par les réacteurs qui seront construits avant la fin du siècle* (et qu'il faudra ensuite alimenter quelques dizaines d'années).

¹¹ C'est ce qu'a fait une organisation internationale, l'IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis). Elle n'est pas du tout nucléaire. Elle s'appuie en particulier sur l'AIEA, l'Agence Internationale l'Energie Atomique, pour les prévisions de ressources mondiales en uranium.

¹² Nous parlons, bien sûr, des réserves accessibles à des prix compatibles avec leur utilisation dans les réacteurs à neutrons thermiques, tels que ceux de 2^{ème} ou 3^{ème} génération.

- *On aurait donc besoin, bien avant la fin du siècle – sous réserve que les technologies aient été mises au point et développées à l'échelle industrielle -, de réacteurs à neutrons rapides, très économes en uranium, à construire en série. On pourrait commencer à le faire aux environs de 2040.*
- *Pour les lancer, il faut, on le savait, disposer de 14 tonnes de plutonium par réacteur de 1000 mégawatts pour constituer les deux premiers cœurs.*

Pour avoir alors assez de plutonium pour lancer une série de réacteurs rapides, il faut l'avoir « généré », c'est-à-dire qu'il se soit constitué, lentement, par la réaction U238 + neutron → Pu239.

C'est heureusement ce que font les réacteurs de 2^{ème} et 3^{ème} générations, en même temps qu'ils produisent de l'électricité !

- Dans la deuxième partie du siècle, on aurait donc en fonctionnement simultanément des réacteurs de 2^{ème} et 3^{ème} générations, produisant de l'électricité et du plutonium, et des réacteurs rapides.

Ce qui est impressionnant, c'est de penser que cette conclusion, en particulier le besoin de générer du plutonium dans les combustibles usés des réacteurs de 2^{ème} ou 3^{ème} génération, est valable à l'échelle du monde industrialisé désireux d'utiliser le nucléaire. Il semble qu'en France, on sache bien tout cela, mais que de nombreux pays n'en aient pas conscience ; ni du fait qu'il sera indispensable, s'ils veulent pouvoir utiliser l'énergie nucléaire, de retraiter, le moment venu, tous leurs éléments combustibles usés pour disposer de plutonium !

[Retour sommaire](#)

2.3 L'EPR en Finlande, à Flamanville, et l'échec d'Abou Dhabi

Nous venons de réfléchir à l'avenir à long terme. Venons-en au présent !

On va parler de l'EPR. Sans entrer dans les détails, on a vu que sa sûreté et un rendement accru par rapport aux réacteurs antérieurs sont d'indéniables avantages.

Mais les médias s'interrogent. Beaucoup d'articles sont très critiques :

- A Olkiluoto en Finlande, retards et surcoûts très importants, différend avec le client et l'autorité de sûreté.
- A Flamanville, quelques difficultés rencontrées, des plannings décalés pour certaines étapes de la construction, un délai final maintenu suivant EDF, mais sera-il tenu ?
- Que penser de l'intervention des trois autorités de sûreté, finlandaise, britannique et française, au sujet du contrôle – commande de l'EPR ?
- Et pour Abou Dhabi, voilà que ce sont les Sud-Coréens qui l'ont emporté au nez et à la barbe des Français qui étaient pourtant partis très confiants !

Energies et Médias peut utilement mettre ces éléments en perspective.

2.3.1 Olkiluoto 3, l'EPR de Finlande

Quelle idée, disent certains, de construire à l'étranger la tête de série d'un nouveau type de réacteur ! Il fallait construire chez nous le premier EPR. On essuie toujours des plâtres : on le fait plus

discrètement chez soi ! Ce n'est pas faux. Mais si les gouvernements français n'ont pas réussi à se décider avant les Finlandais, on ne peut l'imputer aux industriels.

Or ne pas soumissionner, n'était-ce pas prendre le gros risque qu'un des concurrents américano – japonais prenne une avance sur nous ? Areva a soumissionné, considérant qu'il était stratégique d'emporter la commande, quitte à prendre certains risques. Pour l'emporter, Areva a promis une réalisation en quatre ans. Il faut reconnaître que c'était hardi, quand on pense que même un réacteur de série se construit rarement en moins de cinq ans.

La difficulté considérable était que l'industrie française, et même toute l'industrie occidentale, n'avaient plus construit de réacteur depuis Civaux : deux tranches de réacteurs à eau pressurisée près de Poitiers. La construction de Civaux 2 avait commencé en 1991 et le réacteur avait été connecté au réseau en 1999. Depuis lors, l'industrie française n'avait plus rien à se mettre sous la dent. Certains sous-traitants avaient perdu la capacité de faire : entendons par là que les installations de production souvent n'existaient plus ou n'étaient plus adaptées, et que le personnel compétent n'était plus disponible. Il a donc fallu identifier de nouveaux sous-traitants, qu'ils se dotent de personnel, le forment, le cas échéant, aux techniques spécifiquement nucléaires et à la culture de sûreté, et qu'ils obtiennent les certifications voulues pour la qualité nucléaire. Résultat : certes, il y a quelques incidents, essentiellement de simples anomalies, relevés par l'autorité de sûreté. L'important est qu'on les détecte et qu'on les corrige. L'autorité de sûreté a reconnu qu'elles sont vraiment peu nombreuses pour un chantier de cette taille avec un millier de sous-traitants.

Le chantier prend beaucoup de retard. Areva accuse le client et l'autorité de sûreté finlandaise de ne pas mettre assez de moyens en hommes compétents, pour approuver les milliers de plans dans les délais convenus. Les Finlandais s'en défendent. Un arbitrage est en cours. *Energies et Médias* ne prendra pas parti. Il est certain que les délais entraînent des surcoûts considérables. Areva, qui a pris la commande clé en main à un prix forfaitaire, supporte le coût des dépassements qui atteignent, disent les journaux, 65 % du prix contractuel ! Suivant les résultats de l'arbitrage, une part de ces dépassements sera éventuellement prise en charge par le client.

Bien que la presse affirme souvent que celui-ci est très mécontent, il n'est pas certain qu'il le soit vraiment. Certes, le réacteur sera livré avec un gros retard. Mais le client disposera, le jour venu, d'une remarquable machine. On lit que l'EPR est envisagé pour l'appel d'offres pour le 6^{ème} réacteur nucléaire finlandais ; on n'entend pas dire qu'il n'ait aucune chance.

Le dernier point à évoquer concernant Olkiluoto 3 est l'interrogation par l'autorité de sûreté quant au système de contrôle – commande. Comme la même question est posée aussi pour le réacteur de Flamanville et pour les futurs EPR au Royaume-Uni, on l'abordera de façon globale au paragraphe 2.3.3.

[Retour sommaire](#)

2.3.2 Flamanville

Cet immense chantier se déroule bien. Il y a certes aussi des incidents, mais peu. L'autorité de sûreté a arrêté trois semaines le génie civil après avoir relevé quelques anomalies locales dans le ferrailage du béton. Cela montre, comme *Energies et Médias* le dit toujours, qu'elle est intraitable. Au fond, il est important qu'il en soit ainsi.

La presse rapporte qu'EDF a enregistré quelques retards et, pour les rattraper, met en place sur certaines parties du chantier le travail en 3 x 8 six jours sur sept. Il est certain que cela entraîne un

surcoût. Ceux qui annoncent qu'au total, EDF ne parviendra pas à tenir les délais annoncés, ont-ils raison ou tort ? Là non plus, ce n'est pas *Energies et Médias* qui peut le dire !

Il est un point sur lequel, en principe, on peut espérer qu'il ne conduira pas à des retards : nous pensons aux requêtes des autorités de sûreté concernant le contrôle – commande. Abordons brièvement ce sujet !

[Retour sommaire](#)

2.3.3 Le système de contrôle – commande de l'EPR

En novembre dernier, coup de tonnerre : les autorités de sûreté de Finlande, de France et du Royaume-Uni (où plusieurs électriciens voudraient construire des EPR, en cours de certification) envoient une lettre conjointe à EDF et Areva, au sujet des systèmes de contrôle – commande du réacteur.

L'*Usine Nouvelle* du 12 novembre explique :

*Le système de contrôle commande,
qui a pour mission de piloter le fonctionnement de l'EPR,
regroupe une masse de capteurs, d'outils de mesure,
de systèmes de communication, de calculateurs et d'interfaces homme machine.*

Beaucoup d'informatique donc.

Résumons :

Il existe schématiquement *deux dispositifs* :

- *l'un qui pilote le réacteur dans son fonctionnement,*
- *un autre destiné à prendre le relais en cas d'accident ou gros incident.*

Ce qui est essentiel,
*c'est que le deuxième soit suffisamment indépendant du premier
pour être capable de fonctionner même si le premier est endommagé.*
C'est sur cette indépendance que les autorités de sûreté des trois pays
posent des questions. Elles demandent une analyse détaillée
démontrant comment cette indépendance est assurée, et, le cas échéant,
que des modifications soient effectuées par rapport à la conception d'origine.

Il est normal que les autorités de sûreté posent des questions
et demandent d'approfondir certains points.
Cela fait partie du processus courant
de la naissance de nouveaux modèles, de nouvelles installations.

Mais ceux qui cherchent toutes les occasions de dénigrer le nucléaire et les sociétés composant cette industrie ont pensé avoir trouvé un bon filon. Ils se sont fait une joie de prétendre que la sûreté de l'EPR fait l'objet des plus vives inquiétudes ! C'est complètement démenti par M. Lacoste, président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire française. Par exemple il dit dans une interview au *Financial Times* le 27 novembre que la lettre commune ne met pas du tout en question la sûreté de l'EPR. Il est normal, dit-il, que les autorités examinent les réacteurs et disent si elles sont satisfaites ou non. L'autorité de sûreté britannique, dans le même numéro, fait savoir que le consortium français lui a soumis une solution qui « en principe » répond aux soucis de sûreté quant à la conception du réacteur. Il reste à en étudier le détail. L'autorité de sûreté finlandaise, elle, plus que celle de France

et même celle du Royaume-Uni, désire que le dispositif destiné à prendre le relais en cas d'accident comporte des commandes matérielles (filaires, etc...), pas seulement électroniques. Cette diversité des *desiderata* des trois autorités de sûreté ne simplifie pas le travail d'Areva qui souhaiterait trouver des solutions communes convenant à tous.

Dans le planning de construction des EPR, ce dispositif n'est pas « sur le chemin critique ». Cela veut dire qu'on a encore du temps pour étudier et faire approuver les systèmes, électroniques et matériels, répondant aux vœux des autorités de sûreté, sans retarder les chantiers d'Olkiluoto et de Flamanville.

Dernière remarque : Les réacteurs de 3^{ème} génération concurrents de l'EPR, AP1000 et ABWR, n'ont pas reçu de remarques de ce genre des autorités de sûreté occidentales... parce que leurs constructeurs n'ont pas encore assez avancé dans la définition de leur réacteur !

[Retour sommaire](#)

2.3.4 L'échec d'Abou Dhabi

La victoire des Coréens a été rude car, au départ, les Français étaient confiants. On avait sous-estimé la Corée du Sud, grand pays industriel. Elle a gagné, et les médias ont fait des gorges chaudes de « l'arrogance des Français », de leur « organisation de pieds-nickelés¹³ ».

Le gouvernement d'Abou Dhabi émet un appel d'offres pour quatre réacteurs, et dit à la France, puis aux pays concurrents : *nous voulons un « copier – coller » d'un réacteur que vous fabriquez déjà pour vous-mêmes, et nous voulons que la construction chez nous, puis l'exploitation, soient menées par le même électricien que chez vous.*

Les Français, après le 11 septembre, n'oseraient plus proposer à un client un réacteur qui ne disposerait pas de la protection contre la chute d'un gros avion de ligne. Pour le moment, seul, l'EPR en dispose de façon indiscutable. L'EPR qu'on construit en France, c'est celui de Flamanville, où l'électricien est EDF. Alors Abou Dhabi veut une offre « pour l'EPR de Flamanville » ! Et il veut aussi EDF !

Mais EDF, sollicité par Anne Lauvergeon, répond non ! Abou Dhabi ne fait pas partie de sa zone stratégique. Il est vrai qu'il est raisonnable de se concentrer sur la France, la Chine, les Etats-Unis, la Grande-Bretagne et l'Italie. Que faire ? Areva :

- se tourne vers le deuxième électricien français, franco-belge, expérimenté dans le nucléaire : GDF Suez, qui possède et exploite¹⁴ les sept réacteurs de Belgique, tous à eau pressurisée ;
- et associe au projet Total, très actif et bien considéré à Abou Dhabi.

Si GDF Suez est chargé de la construction du 2^{ème} EPR de France, peut-être qu'Abou Dhabi acceptera l'offre française ? Mais pour l'EPR de Penly, c'est encore à EDF, pas à GDF Suez, que notre gouvernement attribue le rôle d'architecte industriel et de maître d'ouvrage : GDF Suez n'aura qu'un rôle d'associé. Abou Dhabi, mécontent, fait savoir au gouvernement français qu'il ne considérera l'offre française que si elle est présentée par EDF. Notre gouvernement convainc EDF, mais en plein appel d'offres, de se joindre au projet.

¹³ *Les Pieds Nickelés*, c'était un petit journal, une BD, des années 1950 (et même avant la guerre, paraît-il !), du nom de ses héros qui imaginaient toujours des actions invraisemblables.

¹⁴ par sa filiale Electrabel

Les Sud-Coréens ne s'embarrassent pas, eux, de la question de la chute de l'avion de ligne : ils ne sont pas prêts à apporter une solution au problème. Ils proposent ce qu'ils savent très bien faire : un réacteur de 2^{ème} génération¹⁵.

C'est beaucoup moins cher. Ils ont l'avantage, sur les Français, d'avoir lancé chez eux la construction de cinq réacteurs entre 2006 et 2008, dont un de 1400 mégawatts comme celui qu'ils proposent à Abou Dhabi. Le constructeur Kepco est prêt, prêt à détacher à Abou Dhabi les ingénieurs et techniciens qui construisent habituellement dans leur propre pays, quitte à faire revenir au travail en Corée, pour leurs projets nationaux, les retraités compétents.

Pour obtenir une référence internationale, ils sont prêts aussi à un sacrifice sur les prix. De plus, le gouvernement coréen tient tellement à obtenir la commande que Kepco est prêt à prendre le risque de coûts supplémentaires de plusieurs milliards de dollars pour le cas où Abou Dhabi corserait ses exigences par rapport aux spécifications de l'appel d'offres, en particulier quant à la capacité à résister à la chute d'un avion de ligne.

Par-dessus le marché, l'euro monte alors par rapport au dollar, ce qui creuse l'écart entre les prix de l'EPR et du réacteur coréen.

Comme disent nos enfants, « il n'y a pas photo ! ». Si Abou Dhabi est prêt à faire construire des réacteurs de 2^{ème} génération (sans dispositif pour faire face à la fusion du cœur), avec ajout de la protection contre la chute d'un gros avion de ligne aux frais des Coréens, il n'y a pas de solution pour les Français.

Peut-on parler d'arrogance des Français qui se croient beaucoup plus forts que les autres? Pas du tout ! C'est plutôt une raison éthique qui empêche Areva de proposer un réacteur de 2^{ème} génération. D'ailleurs M. Lacoste a dit (*Le Figaro Economie* du 20 janvier): ... *il ne me paraît pas envisageable une seconde que la France construise des EPR chez elle et vende à l'étranger des réacteurs de sûreté moindre.*

On a répondu à la critique d'une organisation de « pieds nickelés ». On a vu que, pour Abou Dhabi, EDF ne s'est pas estimée, au départ, en mesure de participer au projet. Et il n'y a pas à critiquer la position d'un chef d'entreprise qui choisit des priorités parce qu'il sait qu'il ne peut pas faire face à une demande tout à coup considérable par rapport à ses moyens.

Discutons, pour l'avenir, de l'offre française !

[Retour sommaire](#)

2.4 L'offre française

2.4.1 Les acteurs

Areva est habituellement fournisseur de « l'îlot nucléaire ». Soit le client choisit aussi les fournisseurs des autres parties du réacteur, soit Areva s'allie à d'autres sociétés pour fournir une centrale « clé en main ».

M. François Roussely est chargé de réfléchir à l'organisation de l'offre française. Mais on peut penser que les conclusions seront différentes suivant qu'il s'agira :

¹⁵ Kepco a proposé aux Finlandais le même réacteur pour la construction du futur 6^{ème} réacteur du pays. La réponse a été nette : il ne répond pas à nos normes !

- de chantiers en France,
- ou dans d'autres pays ayant un ou plusieurs électriciens nucléaires expérimentés,
- ou dans un pays qui n'en dispose pas, en particulier un nouvel entrant dans le nucléaire (ce cas représente moins de 20 % du marché).

2.4.2 Disposer d'une gamme de réacteurs

On a brièvement mentionné au paragraphe 2.1.3 les qualités remarquables de l'EPR.

Néanmoins n'avoir à proposer que l'EPR, 1600 ou 1650 mégawatts peut être un handicap dans certains pays. Il faut un réseau électrique bien structuré pour emporter tant de courant ! ou alors, sur place, un immense projet de dessalement d'eau de mer et un très gros réseau de distribution de l'eau douce produite. Areva s'en rendait bien compte, et a préparé l'arrivée de deux autres modèles.

Areva et Mitsubishi annoncent (*La Tribune* du 4 février) que le petit frère de l'EPR, l'*Atmea*¹⁶, le réacteur de 1100 mégawatts à eau pressurisée de 3^{ème} génération, est maintenant prêt à être proposé aux clients. L'ASN va entamer l'évaluation des options de sûreté. ... « Nous l'avons déjà présenté à une quinzaine de clients potentiels, qui sont convaincus que ce réacteur pourrait répondre à leurs besoins », affirme le patron d'Atmea. Ces pays, comme la Jordanie, la Thaïlande, la Hongrie ou la Slovaquie, veulent se doter de nouvelles centrales nucléaires, mais le processus sera encore long. « Des décisions fermes pourraient intervenir dans environ cinq ans, même si des appels d'offres pourraient être lancés dès 2011 ». GDF Suez s'y intéresse aussi, en particulier pour le dessalement de l'eau de mer. *La Tribune* écrit ainsi : GDF Suez et Areva, qui finalisent un protocole d'accord, envisagent notamment de coopérer autour d'Atmea. Selon les demandes des clients, dans des pays qui intéressent le groupe dirigé par Gérard Mestrallet, par exemple la Jordanie, GDF Suez pourrait proposer ses services d'exploitant nucléaire. Par ailleurs, GDF Suez pourrait proposer ses services d'ingénierie à Areva lors de [...] la conception détaillée d'Atmea en réponse à une commande. M. Mestrallet vient d'écrire au ministre Borloo pour exprimer le souhait qu'un Atmea soit construit dans la vallée du Rhône, afin de servir de référence pour des offres à l'étranger.

Entre l'EPR, 1600 mégawatts, et l'*Atmea*, 1100 mégawatts, Areva pourra aussi prochainement proposer aux clients habitués aux réacteurs à eau bouillante le *Kerena*, réacteur de 1250 mégawatts. Il intéresse, par exemple, E'ON qui participe à son développement. Sa conception devrait être finalisée d'ici fin 2010.

Notons que, pour chaque modèle de réacteur, on cherche le meilleur moyen à mettre en œuvre en particulier contre l'impact d'un gros avion de ligne. Pour l'*Atmea*, on a choisi de remplacer la double coque en béton de l'EPR par une simple coque entourée d'un anneau de béton plus haut qu'elle, plus adapté à un réacteur de moyenne puissance. Un gros avion ne peut arriver en piqué pour échapper à l'anneau protecteur et taper directement la coque !

[Retour sommair](#)

2.5 Conclusion

¹⁶ Atmea est le nom de la société constituée à parité entre Areva et Mitsubishi pour développer et commercialiser un réacteur du même nom.

Avec la construction des EPR de Finlande et de Flamanville, Areva et EDF reconstituent le réseau industriel qui avait disparu, nécessaire à la construction en série de ce réacteur en Europe, avec tous les sous-traitants certifiés pour la qualité nucléaire. L'EPR d'Olkiluoto 3 sera un réacteur dont personne ne mettra en doute la qualité et la sûreté, car l'autorité de sûreté aura été scrupuleuse dans l'analyse de tous les détails. De même, celui de Flamanville.

Nous aurons « essayé les plâtres » avant nos concurrents ». Aujourd'hui beaucoup de commentateurs et de journalistes se moquent des difficultés que vivent les Français. Mais les clients potentiels sans doute ne s'y trompent pas : ils comprennent que les concurrents en passeront aussi par là ! Les Chinois ont commandé deux EPR. Ils ont constitué avec EDF une co-entreprise (70 % - 30 %) pour les construire et les exploiter, et avec Areva une co-entreprise (55 % - 45 %) pour réaliser ensemble l'ingénierie et la fourniture des îlots nucléaires de réacteurs. Les Indiens ont exprimé l'intention de commander entre deux et six EPR. Quelques jours après le choix d'Abou Dhabi, négatif pour nous, un cinquième électricien américain a choisi de lancer l'étude de faisabilité pour en construire deux ; les décisions de ces cinq électriciens restent certes encore à confirmer quand, en particulier, l'autorité de sûreté aura agréé l'EPR, mais c'est bien une reconnaissance.

Areva construit les usines pour être bientôt capable de produire elle-même les plus grosses pièces de forge, en France, aux Etats-Unis, sans doute ensuite en Chine.

On peut donc penser que l'industrie française aura bientôt derrière elle le plus dur du lancement des EPR dans le monde. Elle pourra offrir aux clients deux autres modèles de réacteurs de 3^{ème} génération, plus petits et, dans certains cas, plus adaptés à la taille de leur réseau électrique. Elle ne gagnera cependant pas tous les appels d'offres, bien sûr, car il existe au moins quatre concurrents valeureux : deux américano – japonais, un russe et un sud-coréen. Il y aura de la place pour tous si tous continuent à faire du bon travail et justifient la confiance renaissante du public dans le nucléaire.

Quand l'uranium deviendra rare et cher, si le nucléaire continue à mériter cette confiance du public, les électriciens nucléaires souhaiteront avoir recours aux réacteurs à neutrons rapides de la 4^{ème} génération, très économes en uranium – à condition, bien sûr, que leur développement ait abouti, comme cela paraît très probable.

Mais si certains pays – ou certains politiques – désireux d'utiliser l'énergie nucléaire comptaient sur une accélération du développement des réacteurs rapides, et imaginaient de se lancer directement dans la construction et l'exploitation de ces réacteurs, ils se trouveraient face à un grave problème : il faut, en effet, pour les démarrer, disposer au départ d'une quantité non négligeable de plutonium. Or c'est dans les réacteurs de types actuels, c'est-à-dire de 2^{ème} ou 3^{ème} génération, que celui-ci se forme, très lentement. Les pays qui font confiance au nucléaire doivent donc utiliser le temps qui les sépare aujourd'hui de l'essor des réacteurs rapides (vers 2040 ?), pour exploiter des réacteurs de 2^{ème} ou 3^{ème} génération. Certains auront besoin d'en construire, bien avant de construire des réacteurs de 4^{ème} génération.

[Retour sommaire](#)