

## Le nucléaire va-t-il passer à l'Est ?

### *Le ressenti d'une inquiétude croissante, mais de moins en moins justifiée*

Three Mile Island, Tchernobyl, Fukushima ont-ils frappé les trois coups d'un drame majeur qui menace l'humanité ? Existe-t-il une fatalité qui nous oblige à subir une catastrophe nucléaire tous les 20 ou 30 ans ? Le silence qui entoure le nucléaire fait aussi peur que ces particules invisibles qui traversent les hommes sans laisser de traces. Les accidents ont commencé dès la manipulation des premières masses sous critiques à Los Alamos en 1945 ; ils se sont multipliés...

Déjà un mois après Fukushima, la centrale de Browns Ferry dans le Tennessee a été mise à l'arrêt après avoir été durement frappée par la tornade du 27 avril 2011. Le déclassement des informations sur les bombes atomiques voici deux décennies cite des dizaines de cas d'armes ayant atteint 6 à 7 niveaux de sécurité sur 8. Lors du tremblement de terre en Arménie, fin 1988, la centrale de Medzamor s'est fissurée. ... Cependant difficultés et problèmes ont été très souvent résolus en fonction de travaux assidus et d'innovations technologiques pertinentes ; les mesures de sécurité se sont montrées à la hauteur de bien des incidents.

Le public ignore qu'une entreprise française par son savoir faire a colmaté Medzamor, que dans tous les cas d'alerte les barres de contrôle ont réduit automatiquement en quelques secondes la puissance nominale à quelques 5% arrêtant la réaction en chaîne pour laisser la gestion des régimes sous critiques résiduels au circuit de refroidissement (sauf à Tchernobyl où les sécurités avaient été volontairement bloquées) L'examen des trois réacteurs à eau bouillante (REB)<sup>1</sup> de Browns Ferry, semblables aux réacteurs de Fukushima, révèle une séquence de sécurité parfaitement efficace. L'alerte indiquant l'impossibilité d'évacuer la puissance en raison de la destruction de toutes les lignes électriques environnantes déclenche la remontée des barres de contrôle dans le cœur du réacteur. Quelques minutes après les générateurs Diesel sont en mesure d'assurer le contrôle et le refroidissement. Quand aux particules qui nous traversent, les laboratoires célébreront en 2012 un siècle de découverte des rayons cosmiques<sup>2</sup>. Cinq particules par seconde (au niveau de la mer) traversent nos têtes comme elles ont traversé les têtes de nos ancêtres et elles vont persévérer. De même le corps humain émet une radioactivité à proportion du Carbone et du Potassium radioactifs qu'il abrite<sup>3</sup>. Le nucléaire est dans la nature, comme dans l'Univers.



*Fin octobre 2011, la Chine achève la première la construction du bâtiment réacteur de l'EPR de Taishan.*

*Au contraire de l'Europe, les BRIC, les autres pays asiatiques et américains renforcent leur production d'énergie nucléaire.*

*Installation du dôme de Taishan 1 (23-X-2011 Image: CNECC)*

Les français semblent se tirer moins mal que les autres de la difficile maîtrise de la fission des noyaux lourds avec trois décennies sans incident grave tel une fusion partielle du cœur d'un réacteur. Le traitement des accidents génériques, un parc homogène de réacteurs à eau pressurisée (REP)<sup>4</sup> et un retour d'expérience immédiat, des inspections beaucoup plus fréquentes et approfondies que ce que l'on imagine, des simulations

approfondies expliquent ce niveau de sécurité. Mais certains prévoient une catastrophe encore plus dramatique pour le premier producteur d'électricité nucléaire en Europe. Que faire de ces quantités d'Uranium appauvri et de Plutonium qui s'accumulent tous les jours, comme des actinides mineurs (dont la radioactivité dure des milliers d'années)?

A l'heure où nos voisins s'orientent pour des raisons politiques ou géographiques vers un rejet du nucléaire (Allemagne, Belgique, Italie), il est temps de faire le point sur l'héritage de Fermi et d'Einstein, les leçons à tirer et les perspectives qui pourraient s'ouvrir, EPR suite des réacteurs à eau légère, réacteurs à neutrons rapides de la 4<sup>ème</sup> génération (RNR)<sup>5</sup> ou fin de la fission avec ITER basé sur la fusion des noyaux légers<sup>6</sup>.

Il n'en demeure que si les gains en termes de CO2 ou d'indépendance énergétique nationale sont évidents, les résidus de fission sont toujours indésirables et coûteux à incinérer ou à retraiter. Il convient cependant de remarquer que pour 100T d'Uranium combustible consommés en 3 ans, environ 80 kg d'actinides mineurs sont rejetés.

La crise économique comme l'accroissement des émissions de gaz à effets de serre exigent la disposition d'un instrument fiable et efficace ; dans l'état actuel de la recherche ce sont les réacteurs RNR<sup>6</sup> à filière Sodium de génération IV qui semblent les plus disponibles. Ils peuvent incinérer les déchets et éventuellement fonctionner en boucle fermée, produisant eux-mêmes le carburant qu'ils consomment. Ces RNR peuvent débiter avec un Uranium enrichi à près de 20%, avec du Plutonium déjà produit lors du fonctionnement normal des REP ou REB, ou encore avec du MOX (mélange d'oxydes d'Uranium naturel ou appauvri avec du Plutonium). L'EPR et ses concurrents de 3<sup>ème</sup> génération bénéficient d'une meilleure sécurité et leur rendement est un peu amélioré par rapport à la génération précédente, mais leurs besoins en Uranium naturel restent importants. Ils représentent une excellente transition pour produire simultanément de l'énergie et du Plutonium qui amorcera la 4<sup>ème</sup> génération.

### *Les Suites de Fukushima*



*La délégation japonaise au congrès de Beijing le 16 août 2011. L'un des jeunes chercheurs japonais s'est porté volontaire et a pu se rendre dans la salle de commande de Daiichi 1 à Fukushima, fin mars.*

*Les physiciens ont une solution pour renforcer le fond de cuve en cas de fusion du cœur. Le coût des remplacements des fonds de cuve des REB avec une nouvelle géométrie et des aciers particulièrement résistants est en cours d'estimation.*

Après un entretien avec les physiciens japonais à Beijing (certains sont entrés dans les salles de commande de Daiichi après s'être portés volontaires) l'accord est obtenu pour remarquer que les réacteurs à eau bouillante (type Fukushima sur la quasi totalité du Japon) présentent une faiblesse dans la configuration de la cuve principale (la forme d'une coquille d'oeuf dont nous schématisons le fond par un U) : les barres de sécurité arrêtent le réacteur en remontant dans le coeur ; à cet effet des orifices sont aménagés dans le fond du U et lorsque, après un accident, un corium en ébullition à plus de 1000° s'accumule au fond du U, les joints laissent passer des écoulements radioactifs ; soulignons ici que les réacteurs français sont des réacteurs à eau pressurisée avec des barres contrôle qui descendent, le fond de cuve restant parfaitement homogène. Une solution pour les japonais serait de remplacer les fonds de cuve en U par des fonds de cuve en W ; les barres de contrôle passeraient alors au centre du W permettant au corium de s'accumuler de part et d'autre dans les deux fonds du W qui ne seraient plus percés (la traduction à 3 dimensions est l'usinage avec les meilleurs aciers d'un fond de cuve en forme de chapeau mexicain, les barres passant dans le sommet du

chapeau, tandis que le corium resterait dans les bords). Le calcul de l'investissement nécessaire au changement de toutes les cuves est en cours. Les japonais vont aussi s'inspirer du système français multipliant par 2 ou 3 les circuits de refroidissement.

L'isolement de l'archipel et les menaces éventuelles sur les routes de ses approvisionnements incitent le Japon à persévérer dans la voie des RNR ; le Japon a relancé l'activité du RNR à Monju et persévère dans le développement de centrales résistant aux séismes et aux tsunamis.

Avec des motivations différentes, la Chine et l'Inde accélèrent leurs équipements. Riches en détecteurs sophistiqués, la Chine et la Corée du Sud ont établi rapidement le diagnostic que Fukushima était différent de Tchernobyl et ils en ont tiré les conséquences.

### ***2011, la Chine entre dans la 3<sup>ème</sup> et la 4<sup>ème</sup> génération***

Un réacteur nucléaire à neutrons rapides (RNR) de 20 MWe est couplé au réseau électrique chinois depuis le 21 juillet 2011. Refroidi au Sodium qui est le fluide caloporteur le mieux approprié, ce réacteur préfigure une unité de 600 MWe représentant environ le tiers du réacteur SuperPhénix arrêté par le gouvernement français en 1998, mettant fin à un investissement d'environ 40,5 Mds de Francs.<sup>8</sup>

Les retours d'expérience de l'ancien réacteur Phénix ont bien été utilisés par le CEA, mais Phénix créé en 1972 a été stoppé en 2009. Il faudra encore une dizaine d'année pour construire le réacteur à neutrons rapides ASTRID et retrouver le niveau technologique de SuperPhénix. ASTRID (Advanced Sodium Technological Reactor for Industrial Demonstration) s'inscrit encore dans la filière sodium qui semble maintenant technologiquement maîtrisée. Depuis 2000, c'est aussi le cas en Russie et au Japon, partenaires comme la France d'une vingtaine de nations du Forum génération IV ; sous la pression de la Russie et des Etats Unis, suivis par le Japon, ces pays ont identifié les réacteurs à neutrons rapides comme la meilleure alternative pour une production moderne de l'énergie nucléaire. Ils ont décidé, en contradiction avec la décision française de 1998, de privilégier les RNR en fonction d'avantages évidents liés à la surgénération (consommation de l'Uranium appauvri, incinération des déchets de fission, restitution du plutonium pour les prochains combustibles et finalement indépendance énergétique renforcée). Observons ici que par réactions successives, les neutrons rapides transforment l'Uranium 238 (la quasi totalité du combustible) en Plutonium fissile). Les RBR, REP et LHC n'ont pas cet avantage.

La configuration actuelle de la production d'électricité nucléaire en Chine est renforcée par l'EPR afin de disposer dans quelques années d'une réserve de Plutonium suffisante pour lancer plusieurs RNR.

### ***Le premier EPR Chinois devrait diverger en 2013***

Le 24 Octobre 2011, l'opérateur chinois CNECC (China Nuclear Engineering and Construction Corporation) a fait connaître l'état d'avancement des deux réacteurs EPR sur le site du complexe nucléaire de Taishan (Province de Guandong). Le 1<sup>er</sup> EPR en construction depuis 2008 a été coiffé d'un dôme de 270 T et de 147m de circonférence, posé à 44 m de hauteur et bouclant la construction du bâtiment réacteur : la réussite de cette étape importante laisse entrevoir une mise en fonctionnement de cet EPR en 2013 avec 2 ou 3 années d'avance sur le réacteur français de Flamanville...

Ce réacteur est suivi par un second EPR, Taishan 2, qui devrait être terminé en 2014 suivant le contrat de Novembre 2007 entre Areva et GPNCC (Guandong Nuclear Power Group). La mise en chantier de deux autres EPR est prévue ensuite.

La maîtrise d'oeuvre s'exécute dans un joint-venture (coentreprise) de CGNPC et EDF. Deux EPR supplémentaires devraient être construits à partir de 2015. Le centre de Taishan, situé à 140km à l'Ouest de Hong Kong, alimentera en électricité une part importante du Sud Ouest de la Chine.

Des compétences de gestion des centrales nucléaires et de formation des personnels ont été récemment obtenues des USA (14 nov.) dans la cadre du contrat EXELON-CNNC (China National Nuclear Company) ; la Chine avec ses nouveaux réacteurs des centrales de Yangjiang (6 réacteurs de 1080 MWe chacun), avec les complexes de Ling Ao et Daya Bay (à 55 km de Hong Kong) et le développement à l'Est de la centrale de Haiyang sera ainsi dans 5 ans en mesure d'apporter une réponse compétitive face aux besoins croissants de l'expansion de son industrie et des besoins de sa population.

Elle sait faire preuve d'éclectisme dans le choix de ses partenaires. Exelon est le premier opérateur américain avec 17 réacteurs distribués sur une dizaine de sites et bientôt 5 réacteurs de plus (coopération avec le groupe Constellation) pour atteindre une puissance d'environ 18500 MWe. Suivant l'exemple, la compagnie nationale CNNC qui dispose de 7 réacteurs caresse l'espoir de multiplier par 5 avant la fin de la décennie le nombre de ses réacteurs. A l'aube de 2012 la Chine vient d'achever la phase II de la centrale de QinShan, mettant en réseau un réacteur supplémentaire (30 nov. 2011) et elle dispose déjà d'un parc opérationnel de 15 réacteurs.

### ***Le retrait de l'Allemagne***

Anticipant l'émotion suscitée dans son électorat par la catastrophe de Fukushima, le gouvernement allemand a décidé en mars 2011 de stopper immédiatement les anciens réacteurs nucléaires du pays et d'arrêter les autres à l'horizon 2022, concrétisant les suites de mesures prises dès les années 90 pour satisfaire les mouvements antinucléaires. Cette contestation apparue dès 1970 en Allemagne qui ne pouvait avoir un libre accès aux technologies nucléaires semble avoir été favorisée par le lobby des énergies fossiles, en particulier du charbon<sup>3</sup>.

La dernière conséquence concrète de ce virage stratégique est l'abandon d'un projet de coentreprise entre Siemens et le groupe russe Rosatom. En 2009, Siemens avait annoncé sa rupture avec le groupe nucléaire français Areva. Le groupe avait préféré s'orienter vers la Russie pour envisager en mars 2009 une coentreprise avec Rosatom, dans un contexte de renaissance internationale du nucléaire. Siemens a annoncé le 18 septembre 2011 qu'il renonçait à son activité dans le nucléaire pour se concentrer dans le secteur des énergies renouvelables en adéquation avec le désengagement du nucléaire choisi par Mme Merkel. Cette décision semble mettre fin aux polémiques et procès avec Areva. Siemens devient ainsi un pionnier des technologies vertes et du développement urbain international. Le groupe allemand est en particulier l'artisan principal de la construction d'éoliennes au niveau international.

Un rapport discret à la Conférence de Durban présentait ces jours derniers l'émission de CO<sub>2</sub> par les divers pays pour produire un KWH : environ 80g pour la France et 400g pour l'Allemagne soit 5 fois plus. L'Allemagne s'installe au rang de 1<sup>ère</sup> grande puissance européenne productrice durable de gaz à effet de serre.... Il est également édifiant d'estimer à partir du même rapport (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion, IEA, Paris(2010)) les effets sur les rejets de CO<sub>2</sub> de la Suisse, la Belgique et l'Italie après la fermeture de leurs centrales.

### ***La coopération bilatérale Franco-russe.***

Le 18 Novembre 2011, les premiers ministres français et russe se sont rencontrés à Moscou lors de la 16<sup>ème</sup> réunion de la Commission russo-française pour la coopération bilatérale dans les divers domaines, énergie, aérospatiale, projets techniques et militaires...

La collaboration des acteurs du nucléaire des deux pays et le rapprochement des acquis technologiques concernant les réacteurs avancés arrivent ainsi en priorité dans les accords discutés en respectant une priorité ; tenir compte des retours d'expériences de Fukushima et des dysfonctionnements antérieurs puis incorporer en premier les nouvelles mesures de sécurité élaborées dans les centrales existantes ou en projet dans le monde. La coopération dans le droit fil des convergences de vues de Génération IV s'étend aux générations II et III, incorporant les EPR en construction en Finlande, France et Chine et les VVER-1000/1200 en construction sur deux sites en Russie (dont l'enclave de Kaliningrad) et en Inde. Elle prévoit aussi un rapprochement CEA-Rosatom sur les RNR filière sodium. Enfin la collaboration avec Rosatom concerne l'ensemble de la filière nucléaire de l'extraction de l'Uranium à la configuration des combustibles et au retraitement des déchets.

Si elle dispose de réserves de Plutonium très importantes (300T dans 20 ans au rythme actuel), la France n'a désormais plus de RNR opérationnel: le prototype industriel SuperPhénix a été arrêté en 1998, tandis que son prédécesseur, le réacteur expérimental Phénix, a été arrêté plus tardivement, le 12 septembre 2009. Le CEA réalise les opérations préparatoires au démarrage du démantèlement prévu en 2012. En parallèle, le CEA dirige l'élaboration du prochain prototype RNR de 600MWe de Génération IV, comme la mise en place du réacteur expérimental Jules Horowitz, prévu pour 2013. En Russie, le réacteur RNR de 600 MWe BN-600 a fait une belle démonstration, la centrale de Beloiarsk fonctionnant depuis 1980. Un réacteur du même type, plus puissant, le réacteur BN-800 va prendre la suite.

Les anciens pays de l'Est (y compris la Pologne qui veut implanter deux centrales), à l'instar des pays de l'ex-URSS souhaitent conserver l'électricité d'origine nucléaire. Au contraire, à part la France et le Royaume Uni, la C.E. renonce dans l'ensemble à ce type d'énergie.

### ***Une Communauté Européenne fragilisée dans son indépendance énergétique***

Dans ce contexte, la France et le Royaume Uni qui est aussi engagé dans un projet EPR semblent isolées dans une peau de chagrin à l'Ouest. Au mieux les filières d'Areva en Angleterre pourraient retraiter les derniers produits de fission de l'Allemagne, cette procédure semblant désormais indésirable à La Hague. Trois décennies d'informations focalisées sur des catastrophes survenues en dehors de l'Europe, ignorent les réussites et les services rendus par des techniciens et des ingénieurs méritants, taisent les succès de la filière et créent la confusion sur l'impact environnemental et écologique. L'obscurantisme technologique et même scientifique entretenu pour l'homme de la rue ne laisse pas entrevoir un grand développement à l'Ouest.

La croissance sans faute de la Chine, la détermination du Japon, les ambitions de la Corée du Sud et les relations de ces partenaires avec la collaboration France-Russie préparent la formation d'un pôle nucléaire d'excellence Eurasiatique particulièrement compétitif.

Comment le citoyen français pourrait-il se prononcer sur les avantages des RNR sur les REP ou encore sur la protection des accidents majeurs (fusion du cœur de réacteur) ? Peut-t-il apprécier l'efficacité de l'incinération des déchets préoccupants (Américium, Neptunium, Curium) ? Ces distinctions ne figurent pas dans le programme de Physique de Terminale S, mais elles pourraient facilement être insérées, s'il n'est pas trop tard. En 1933 déjà, des foules haineuses brûlaient dans le square faisant face à l'Opéra de Berlin les articles de la Relativité après avoir saccagé la maison d'Einstein ; la propagande déchaînait les démons de l'irrationnel contre la Connaissance. Entre cette date et 1939, l'Europe perdait ses élites scientifiques qui s'installaient définitivement outre atlantique. Allons nous voir après de nouveaux autodafés anti-scientifiques une évansion accrue des meilleures compétences vers l'Est ?

L'indifférence et l'incapacité de l'Europe où chacun cherche ses approvisionnements énergétiques séparément sont patentes ; le bilan du commerce extérieur de la CE avec les seuls pays d'Asie Centrale fait ressortir un déficit chronique de 10 milliards d'Euros, tandis que l'échange de ces pays avec la Chine se solde par un excédent de 10 milliards d'Euros en faveur de cette dernière.

Einstein déplorait l'impact très limité du développement des Sciences et des Techniques sur le bonheur des hommes ; il avançait que notre mauvais usage des acquis scientifiques était la première cause de cette situation. Tchernobyl et Fukushima reflètent deux gouvernances contreproductives, la première uniquement étatique, la seconde soumise à des priorités commerciales.

La bonne gouvernance du nucléaire réclame une configuration pertinente avec une direction de l'Etat à la mesure de ses responsabilités (indépendance énergétique, sécurité civile et militaire, compétitivité industrielle) ; cette direction devrait être assistée par des représentants des acteurs du nucléaires (syndicats, centrales, entreprises spécialisées, distributeurs de l'énergie) et contrôlée par des parlementaires disposant de prérogatives accrues de l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technique (OPECST). L'OPECST pourrait ainsi accueillir des experts indépendants de très haut niveau scientifique et des universitaires et chercheurs pouvant accompagner les élus dans l'étude des dossiers au sein d'une section nucléaire du Conseil Scientifique (à l'heure actuelle deux membres sur 24 personnalités de ce conseil pourraient avoir une lecture rapide de tels dossiers...).

**J.N. Capdevielle,**

*Membre de l'Académie des Sciences d'O.M.  
Directeur de Recherche Emérite,  
Paris 07/12/2011*

## Notes et Références

1. Réacteur à eau bouillante (REB) Ce réacteur utilise des neutrons lents ralentis à une vitesse de quelques Km/s pour augmenter la probabilité de produire des fissions en heurtant les noyaux d'U235. Le fluide caloporteur est l'eau jouant le rôle de modérateur et de réfrigérant. La vapeur de cet unique circuit d'eau entraîne les turbines des générateurs. Les barres de contrôle entrent par le fond de la cuve du réacteur.
2. Les Rayons Cosmiques, J.N. Capdevielle, QSJ n°729 PUF, 1984
3. Testament d'un scientifique, L. Leprince Ringuet, Ed. Bayard 1998
4. Réacteur à eau pressurisée (REP) : semblable au REB, il s'en distingue par les barres de sécurité descendant par le sommet de la cuve et par l'eau sous pression qui ne peut atteindre l'ébullition. Un second circuit d'eau et un échangeur évitent la contamination de la vapeur du second circuit en cas de contamination du circuit intérieur. L'EPR est une version très améliorée du REP avec une cuve adaptée à des accidents graves et un rendement énergétique plus élevé.
5. Réacteur à neutrons rapides (RNR) Il n'y a pas de modérateur et l'Uranium est enrichi à 20% au lieu de 3%. Le plutonium intervient également en qualité de combustible, ainsi que le MOX. Les neutrons de fission conservent leur vitesse de sortie (environ 20 000 km/s) et les partenaires de fission sont les noyaux de Pu, d'Uranium enrichi. Un assortiment des couvertures d'Uranium appauvri ou naturel peut par réactions successives transformer des noyaux de d'Uranium en noyaux de Pu qui deviennent alors du combustible. Le fluide caloporteur le plus pratique est le Sodium qui assure le refroidissement. Les actinides mineurs à vie longue peuvent être réduits par transmutation et surtout par incinération.
6. La fission des noyaux lourds et la fusion des noyaux légers sont les deux réactions qui permettent d'obtenir de l'énergie accumulée par des réactions en chaîne entretenues par les neutrons. Cette énergie provient de l'énergie de liaison des protons et neutrons du noyau lourd fragmenté. Le fascicule Clefs, Systèmes du Futur, Génération IV, CEA, 2007 illustre admirablement l'état des lieux de la fission. La fusion des noyaux légers (hydrogène et ses isotopes deutérium et tritium, lithium) autorise l'extraction de l'énergie de combustibles peu coûteux et répandus, tels que l'eau. C'est l'exemple du Soleil (article de H. Bethe dans Physical Review 1939, Prix Nobel 1967) dont le fonctionnement est aujourd'hui totalement décrypté par la mesure des flux de neutrinos. Une excellente mise au point objective et fiable se trouve dans l'ouvrage récent : Maîtriser le Nucléaire de J.L. Basdevant, mai 2011, Ed. Eyrolles
7. Fukushima, le Printemps confisqué, avril 2011, J.N. Capdevielle, Mondes et Cultures, Acad. Sc. OM sous presse
8. SuperPhénix Pourquoi ? 1997, G. Vendryes, Ed. Nucléon, Paris