

# Quel nucléaire après Fukushima ?

**À compter d'aujourd'hui et tous les mois dans Le Figaro, des membres de l'Académie des sciences répondent aux grandes questions de l'actualité scientifique et technologique.**

L'accident nucléaire majeur de Fukushima nous a mis en présence de trois coeurs de réacteurs partiellement fondus, d'au moins une cuve de réacteur temporairement percée, de menaces sérieuses sur les piscines d'entreposage de combustibles usés (aujourd'hui écartés), de deux explosions dues à l'hydrogène dégagé, de 100 000 tonnes d'eau contaminée, de nombreuses populations évacuées et d'environ 500 km<sup>2</sup> inhabitables pour une durée encore indéterminée. Tout cela survenant dans un pays aussi technologiquement avancé que le Japon. Quand bien même les pertes humaines liées à cet accident semblent heureusement devoir

rester très limitées, comment ne pas s'interroger sur la situation et le devenir de l'industrie nucléaire ? Et que penser de la décision allemande d'en sortir à l'horizon 2022 ?

À l'échelle mondiale, les prévisionnistes s'accordent à penser que la demande énergétique, du fait de l'accroissement de la démographie et de la demande des pays émergents (Chine, Inde, Brésil...), aura doublé à l'échéance 2050, même dans l'hypothèse où des pays comme le nôtre réussiraient par leurs mesures d'économies à réduire leur consommation. Simultanément, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, impérative pour l'avenir de la planète, conduit à une équation impossible. Sans énergies renouvelables, tels l'éolien et le solaire, mais aussi sans énergie nucléaire, autant annoncer que le pire des scénarios de réchauffement devient inéluctable, avec son cortège de désertification, de montée des océans et d'événements climatiques de plus en plus catastrophiques.

## Parer à toutes les circonstances

Il faut donc bien conserver de l'énergie nucléaire, mais celle-ci n'est compatible qu'avec des régimes politiques stables et pacifiques, et à la condition de disposer d'ingénieurs et de techniciens bien formés. L'Allemagne et l'Italie appartiennent bien à cette catégorie, et leurs choix éner-



**Professeur Édouard Brézin**

PHYSICIEN THÉORICIEN  
MEMBRE DE L'ACADÉMIE  
DES SCIENCES

gétiques récents ne font pas que privilégier les énergies renouvelables par nature intermittentes, puisqu'ils impliquent également un recours massif au charbon et au gaz naturel.

D'un autre côté, la poursuite du nucléaire impose de nouvelles exigences. Il convient tout d'abord de tirer les leçons du drame japonais en procédant à un réexamen des dispositifs de sécurité des réacteurs de deuxième génération actuellement en service (au nombre de 58 en France), et de ceux prévus pour les nouveaux réacteurs de troisième génération (de type EPR). Notamment le maintien des sources froides et du confinement des produits radioactifs en toutes cir-

constances : inondation, sécheresse, panne d'électricité, incendies, etc. (lire ci-dessous).

Il faut ensuite se demander, en supposant que le nucléaire reprenne la croissance anticipée avant l'accident de Fukushima, si nous ne sommes pas menacés à brève échéance d'un épuisement des réserves d'uranium, principal composant actuel du combustible. Avec la technologie présente, les ressources minières disponibles seraient effectivement limitées à peut-être moins d'une centaine d'années. Mais avec celles, dites de « Génération IV », avec neutrons rapides, les ressources en uranium et en thorium connues dans le monde permettraient de couvrir les besoins sur plusieurs milliers d'années.

## De nouvelles idées

En effet plus de 99 % de l'uranium naturel et l'intégralité de cet autre minéral qu'est le thorium, plus abondant que l'uranium, ne sont pas fissiles mais fertiles : ils ont la capacité d'absorber un neutron rapide et de se transmettre alors en produit fissile. Dans un réacteur à neutrons rapides, on

introduit donc ces éléments a priori inertes, et simultanément un émetteur de neutrons rapides pour les fertiliser. C'est ainsi que la France dispose déjà sur son sol des ressources nécessaires pour mettre en oeuvre cette technologie avec l'uranium « appauvri », aujourd'hui simple résidu inutilisé des opérations d'enrichissement, et avec le plutonium (émetteur de neutrons rapides) issu du retraitement des combustibles usés. De tels réacteurs produisent à peu près autant de plutonium qu'ils n'en consomment : ils se contentent donc de « brûler » l'uranium appauvri. Ces réserves énergétiques pourraient, sans aucune extraction minière, nous approvisionner en électricité pendant des siècles sans émission de gaz à effet de serre.

Pour cette quatrième génération, de nouvelles idées pour renforcer la sûreté sont à l'étude, de même que sa capacité éventuelle à incinérer les déchets radioactifs les plus nocifs : c'est du domaine de la recherche qu'il est, à notre sens, urgent d'entreprendre afin d'assurer notre avenir énergétique pour la seconde moitié de ce siècle. ■

## Peut-on rendre les centrales plus sûres ?

L'accident de Fukushima a confirmé que la fusion partielle du coeur d'un réacteur nucléaire arrêté non refroidi est inéluctable. En dehors de l'emballement d'un réacteur (Tchernobyl, ex-URSS, 1986), la perte des moyens de refroidissement est l'événement le plus redouté, quelles que soient les circonstances, car il est suivi d'une succession de phénomènes rapides, violents et incontrôlables. C'est ce qui s'est produit le 11 mars dernier dans la centrale japonaise, lorsque le tsunami a inondé les moyens de secours destinés au refroidissement des réacteurs. Tous les dispositifs et dispositions pour assurer la sûreté d'un réacteur visent donc à rétablir rapidement le refroidissement des assemblages de combustible et à atténuer les effets de la fusion du coeur si elle a lieu.

L'analyse du déroulement des accidents de Three Mile Island (États-Unis, 1979) et de Tchernobyl a conduit à des améliorations significatives de matériels et de procédures sur les réacteurs actuels d'EDF ainsi que sur le nouveau réacteur EPR qui intègre, à sa conception, tout le retour d'expérience acquis au cours des trente dernières années.



**Professeur Robert Guillaumont**

RADIOCHIMISTE  
MEMBRE DE L'ACADÉMIE  
DES SCIENCES

quent de faire des extrapolations qui conduiraient à prédire le nombre d'accidents à venir pour un parc donné de réacteurs. Il est toutefois à craindre que plus le nucléaire durera et s'amplifiera, même en durcissant la sûreté, plus l'occurrence d'un accident majeur sera possible. Le temps favorise l'émergence d'aléas externes ou internes pouvant conduire à la fusion du coeur.

D'où la nécessité de réduire les risques d'accident par rapport à ce que l'on sait faire aujourd'hui. Pour les réacteurs actuels, il faut poursuivre avec vigilance le maintien des fonctions de sûreté. Il faut également examiner la ro-

bustesse des composants au-delà des performances de construction vis-à-vis d'événements initiateurs de très faible probabilité et des aléas naturels (comme ce fut le cas à Fukushima). C'est le rôle des stress tests, lesquels pourraient conduire à des modifications permettant de poursuivre l'exploitation de ces réacteurs pendant soixante ans, comme les États-Unis prévoient de le faire.

## Second souffle

S'agissant des réacteurs de troisième génération de conception nouvelle, comme l'EPR, il convient de s'assurer que le gain annoncé d'un facteur dix en matière de sûreté n'est pas surestimé. En effet, ce sont des réacteurs très puissants, construits eux aussi pour durer soixante ans, brûlant mieux le combustible, et pouvant éventuellement utiliser beaucoup de plutonium.

Enfin la recherche en sûreté doit trouver un second souffle. Toute nouvelle parade ne peut être fondée que sur la connaissance approfondie du comportement du combustible nucléaire en situations accidentelles car c'est de lui que vient le danger. ■

**11 MARS 2011**  
Après le séisme de magnitude 9 qui secoue le nord-est du Japon, une vague monstrueuse inonde la centrale nucléaire de Fukushima.

**12 MARS 2011**  
La panne des systèmes de refroidissement engendre une violente explosion d'hydrogène dans le bâtiment du réacteur n°1.

**15 MARS 2011**  
La série noire continue : trois autres réacteurs sont gravement endommagés par des explosions provoquant d'importants rejets radioactifs.

**12 AVRIL 2011**  
L'Agence de sûreté nucléaire japonaise classe les événements de Fukushima au niveau 7, le plus élevé de l'échelle Ines.



Des policiers en combinaison anti-radiation, en avril dernier sur le site de Minamisoma, à 18 km de Fukushima.  
KIM KYUNG HOON / REUTERS

## Risques théoriques sous-estimés

On considère, pour le parc nucléaire mondial, que le risque d'accident grave (niveau 6 sur l'échelle Ines) est de 1 pour 100 000 par réacteur et par an et de dix fois moins pour un risque d'accident majeur de type Tchernobyl ou Fukushima (niveau 7). Les valeurs annoncées pour un parc de réacteurs EPR sont plus faibles d'un facteur dix. Toutes ces valeurs, partagées par EDF, sont déduites d'analyses de sûreté fondées sur des scénarios d'accidents initiés par des causes diverses (sauf actes de terrorisme) et du retour d'expérience de la tenue des composants ou de l'efficacité des dispositions assurant les fonctions de sûreté des réacteurs (réactivité, refroidissement du coeur et des piscines de combustible usé, barrières de confinement de la radioactivité). Elles traduisent des risques quasi nuls pour ces accidents même pour un parc de 500 réacteurs fonctionnant cinquante ans.

Les faits montrent à l'évidence que ces risques théoriques sont sous-estimés. Mais il est difficile de dire de combien (d'un facteur 20 ? 200 ?), sans entrer dans le détail et le contexte de chaque accident (type d'aléa initiateur, type de réacteur...) et par consé-

« La catastrophe de Fukushima vient rappeler que le nucléaire actuel, basé sur la fission, peut difficilement prétendre à une diffusion mondiale massive »

## La fusion nucléaire est-elle la solution d'avenir ?

Aujourd'hui, la production d'électricité nucléaire repose essentiellement sur l'utilisation de l'énergie libérée par la fission des noyaux de métaux lourds comme l'uranium et le plutonium. Mais il existe une autre possibilité qui, depuis une cinquantaine d'années, est présentée comme la solution universelle pour disposer d'une source d'énergie sûre, non polluante et inépuisable. Il s'agit de la fusion qui s'appuie sur des réactions nucléaires de nature similaire à celles qui se produisent au coeur du soleil et des étoiles. Malheureusement, la fusion n'a pas encore dépassé le stade de la recherche et des incertitudes subsistent quant à sa capacité à produire de l'électricité dans des conditions économiques acceptables.

Cependant, ses qualités supposées et de réelles avancées scientifiques, lui ont permis de conserver assez de crédibilité pour que les plus grandes puissances économiques aient leurs efforts dans un projet décisif, le programme Iter, centré sur une expérience de grande envergure (1). Cette installation, implantée à Cadarache (Bouches-du-Rhône), a pour objectif principal de déterminer les conditions de fonctionnement d'un réac-



**Guy Laval**

PHYSICIEN THÉORICIEN  
MEMBRE DE L'ACADÉMIE  
DES SCIENCES

teur de démonstration : un travail de longue haleine à l'issue incertaine.

La construction de la machine, qui a débuté en 2010, s'étendra en effet sur dix ans. Après une autre dizaine d'années, les premiers résultats expérimentaux devraient permettre de préciser le dimensionnement du réacteur. Une décennie supplémentaire, au moins, sera nécessaire pour achever le programme scientifique et technologique. Le tout pour un coût estimé à 20 milliards d'euros, dont 13 milliards pour la seule construction (2).

Parallèlement à l'expérience de Cadarache, l'Europe et le Japon mènent une étude sur la faisabilité technologique d'une exploitation écono-

miquement rentable de la fusion. Les efforts portent sur plusieurs thèmes. Le plus important vise à mettre au point des matériaux capables de conserver leurs propriétés mécaniques et physiques pendant des années malgré le bombardement intense que leur feront subir les neutrons émis par les réactions de fusion.

## Acceptation par la société

Ces neutrons posent des problèmes théoriques et technologiques nouveaux par rapport à la fission en raison de leur énergie dix fois supérieure. Du coup, ils induisent une plus grande variété de réactions nucléaires dont les produits, tels l'hélium et l'hydrogène, s'accumulent et peuvent déteriorer la structure des matériaux. En s'appuyant sur des calculs théoriques et sur l'expérimentation dans un accélérateur en cours d'élaboration, les chercheurs doivent concevoir des alliages ou des composites tolérant ces agressions sur de très longues périodes.

Si ce programme ne prend pas de retard, si Iter est un succès et si la volonté d'aboutir ne faiblit pas - ce qui fait beaucoup de « si »... - la construction du réacteur de démonstration pourrait commencer aux alentours de 2030, le déploie-

ment des premières centrales n'intervenant pas avant le début de la seconde moitié du siècle.

Dans ces conditions, faut-il maintenir ce projet, certes prometteur, mais dont les profits demeurent incertains et lointains ? La catastrophe de Fukushima vient rappeler que le nucléaire actuel, basé sur la fission, peut difficilement prétendre à une diffusion mondiale massive. Certains pays accueillent volontiers ce type de réacteurs sur leur territoire. Mais l'acceptation par la société reste fragile. Or, si le nucléaire veut contribuer significativement à la réduction globale des émissions de gaz à effet de serre (cette industrie ne dégage pas de CO<sub>2</sub>), il doit pouvoir se répandre largement. La fusion, en complément, offrirait alors une alternative d'autant plus intéressante qu'elle serait probablement mieux tolérée par les populations. Poursuivre les travaux sur cette filière reste donc plus que jamais une priorité. ■

1) L'Union européenne, la Suisse, la Chine, l'Inde, le Japon, la Corée du Sud, la Russie et les États-Unis soit 34 pays.

2) Soit le dixième de l'investissement mondial annuel dans les énergies renouvelables.