

La prochaine génération de centrales nucléaires et au-delà: un projet ambitieux

Vers un but commun qui appelle l'étude de réacteurs de pointe

Presque tous les pays qui se sont engagés dans des programmes nucléo-électriques civils étudient des types de centrales plus perfectionnés qui prendront la relève, avant la fin du siècle, des installations actuellement en service. Ces centrales sont dites évolutives en ce sens qu'on leur a apporté des améliorations successives fondées sur l'expérience acquise avec les centrales en exploitation dont l'ensemble représente plus de 6000 années de réacteur. Les perfectionnements envisagés se placent à différents niveaux, depuis la conception, la construction et l'exploitation jusqu'à la sûreté et à la rentabilité.

En particulier, améliorer la sûreté au-delà même du niveau remarquable déjà atteint dans presque toutes les centrales en service est aujourd'hui un but commun. Une comparaison objective avec d'autres moyens possibles de production économique d'électricité à grande échelle — comme celle qu'a faite le Colloque d'experts de haut niveau, à Helsinki, en 1991 — montre que l'option nucléaire est de loin la plus avantageuse lorsque l'on veut minimiser l'impact de la production d'énergie sur l'être humain et l'environnement. Cette réalité n'est pas nouvelle, mais il faut la rappeler et en faire la publicité pour convaincre une opinion publique incertaine, très souvent perturbée par les médias qui cultivent le sensationnel, pour rassurer les politiciens et aussi, ce qui ne laisse pas de surprendre, certains sceptiques de la communauté nucléaire.

Dans le contexte de cet article, la sûreté doit être comprise comme l'aboutissement de deux tâches essentielles accomplies par des moyens techniques: premièrement, étudier, construire, exploiter et entretenir le réacteur de telle manière que ni les défaillances de matériel, ni les erreurs des opérateurs, ni les événements extérieurs tels que les séismes ne puissent provoquer une surchauffe du combustible nucléaire et, par voie de conséquence, le dégagement

de quantités dangereuses de radioactivité dans le circuit de refroidissement du réacteur; deuxièmement, prévoir et surveiller une enveloppe de confinement résistante et étanche autour du circuit de refroidissement du réacteur afin de retenir l'essentiel de la radioactivité qui pourrait se dégager lors du déroulement d'un accident qui n'est pas circonscrit au réacteur proprement dit, comme il devrait l'être si le but de la première tâche est atteint.

Il est significatif que pratiquement tous les réacteurs actuellement en exploitation se conforment à peu de chose près au principe de sûreté mondialement agréé. Pour y parvenir, il a fallu moderniser nombre d'installations anciennes en les dotant d'un équipement complémentaire, en améliorant l'ergonomie des consoles de commandes, ainsi que les modes d'exploitation, conjointement avec une formation plus poussée des opérateurs.

Une forte impulsion dans ce sens est venue d'un examen extrêmement approfondi du grave accident de Three Mile Island survenu en 1979. D'autres leçons ont été tirées de l'expérience mondiale d'exploitation, sans cesse accrue. Celle-ci est ouvertement échangée au niveau international entre opérateurs, concepteurs, bureaux d'études et de réalisation et organismes réglementaires. Ces leçons sont un apport important à la conception des prochaines générations de centrales nucléaires évolutives. On peut en escompter de nouvelles améliorations de la sûreté. Cela est dû à ce que la modernisation en question peut intervenir dès le stade de la conception, avec de bien meilleurs résultats que si les ajustements sont faits sur des centrales en service.

Pour évaluer ou «mesurer» les améliorations de la sûreté, les concepteurs ont recours à des méthodes extrêmement perfectionnées également utilisées dans d'autres industries, telle l'aérospatiale. L'évaluation probabiliste de la sûreté (EPS) est l'une d'entre elles et consiste fondamentalement à décrire ou à modéliser l'ensemble d'une centrale sous l'angle de l'interaction des composants, des systèmes, des fonctions et des actes des opérateurs.

par
C.A. Goetzmann,
L. Kabanov
et **J. Kupitz**

M. Goetzmann est un expert à titre gratuit du Département de l'énergie et de la sûreté nucléaires, AIEA. M. Kabanov et M. Kupitz sont membres de ce département.

Elle détermine la probabilité qu'un événement initiateur, défaillance ou erreur, puisse franchir l'une des lignes de défense et s'amplifier jusqu'à endommager gravement le combustible. Le calcul est fait pour de nombreux événements et aboutit à un chiffre cumulatif unique qui exprime la probabilité d'un grave endommagement du cœur, par réacteur et par an. Cette valeur caractéristique a beaucoup diminué puisqu'elle se situait généralement à environ un pour mille avant l'accident de Three Mile Island pour descendre actuellement bien en dessous de un pour dix mille. Pour la prochaine génération de centrales, on vise une nouvelle réduction d'un facteur dix, au moins. La plupart des concepteurs voudraient atteindre le chiffre de un par million.

Outre que ces chiffres permettent de savoir dans quelle mesure différentes conceptions se conforment au principe de la défense en profondeur, l'analyse probabiliste aide et oblige le concepteur à noter les points faibles de son étude. Elle précise l'endroit où une amélioration s'impose et permet de choisir le meilleur moyen technique d'y remédier. Les niveaux de sûreté atteints sont très élevés et l'on peut s'attendre à de nouvelles améliorations. Il y a donc de bonnes raisons de continuer pendant longtemps avec les centrales évolutives actuellement en construction ou à divers stades de planification.

Et pourtant, en dépit du dossier extrêmement satisfaisant de l'énergie d'origine nucléaire, les experts ne cessent de discuter de la façon dont on pourrait encore l'améliorer. Ce n'est pas tant parce que les niveaux de sûreté atteints sont insuffisants, mais plutôt parce que l'on recherche l'excellence. En particulier, si on améliore encore, certains espèrent que cela contribuera grandement à regagner la sympathie de l'opinion publique.

Deux orientations générales se dessinent. La première souligne l'avantage, ou même la nécessité de continuer sur la voie de l'évolution, essentiellement parce que l'expérience sans cesse croissante acquise dans les centrales en exploitation offre un fondement solide pour l'avenir. L'amélioration continue de la sûreté, si elle est nécessaire, ne saurait se faire mieux que dans ce contexte. L'autre orientation, en revanche, préconise une approche novatrice fondée sur une conception nouvelle du réacteur, en particulier si l'option nucléaire doit bénéficier d'un regain de faveur. Examinons brièvement ces deux tendances.

L'approche évolutive

Pour élever encore le degré de sûreté de la prochaine génération de réacteurs de pointe refroidis à l'eau, on cherche à améliorer les protections contre les conséquences d'un accident grave tel que la fonte des éléments combustibles. L'étude de l'accident grave est un des grands thèmes de recherche et développement dans le monde entier. Elle cherche à déterminer plus précisément toutes les atteintes

possibles au comportement souhaité du confinement et à remédier, au stade de la conception, aux insuffisances constatées. Le but ultime de ce travail est de démontrer que, sur le plan technique, aucune mesure d'urgence, telle que l'évacuation, ne devrait être nécessaire pour protéger la population, même après un accident nucléaire grave. Les conséquences d'un accident ne doivent affecter que le site lui-même afin de ne pas perturber la vie de la population des alentours.

Une des tâches principales de l'AIEA consiste à traduire cette démarche en recommandations internationalement acceptées. Les principes énoncés par le Groupe consultatif international pour la sûreté nucléaire (INSAG), organe consultatif auprès du Directeur général de l'AIEA, conviendraient fort bien à cette fin. Essentiellement, l'objectif technique de sûreté précisé dans le rapport dénommé INSAG-3* devrait être élargi pour inclure également les accidents dont la gravité dépasse celle des accidents dits de référence. Il conviendrait aussi d'apporter certaines modifications aux principes relatifs au confinement, ce qui implique un assez gros travail pour définir les incidences et conséquences techniques.

L'approche novatrice

Maints partisans d'une approche novatrice de la conception des futurs réacteurs adoptent un autre point de vue. Ils font valoir que, s'il est vrai que la sûreté des réacteurs évolutifs actuels et futurs est acceptable, sa réalisation et la maintenance dans le temps exigent des moyens techniques fonctionnellement trop complexes et alourdissent malencontreusement la tâche des opérateurs. Ils préconisent des centrales beaucoup plus simples dont la sûreté dépend en dernier ressort beaucoup moins — et à l'extrême, pas du tout — du bon fonctionnement de systèmes de sûreté élaborés et des réactions des opérateurs, par comparaison avec les centrales évolutives. Ils pensent aussi que ce concept nouveau de réacteur contribuerait beaucoup à faire accepter le nucléaire par le public.

Et d'ajouter que la nécessité d'innover deviendra de plus en plus pressante si l'on veut que l'option nucléaire se développe sensiblement dans l'avenir et gagne de nombreuses régions du monde qui n'ont aujourd'hui pratiquement aucune expérience de cette technologie. A-t-on les moyens, demandent-ils, d'entreprendre et de soutenir l'effort épuisant, sur le plan technologique et humain, qu'exigent la conception, l'homologation, la construction, l'exploitation et l'entretien des descendants évolutifs des réacteurs

*Principes fondamentaux de sûreté pour les centrales nucléaires (INSAG-3), Collection Sécurité de l'AIEA, n° 75, Vienne (1988).

actuels, pour s'assurer que le degré de sûreté souhaité est uniformément maintenu dans le monde entier et pour longtemps? Ou encore, en d'autres termes, peut-on y parvenir plus aisément avec des réacteurs de conception nouvelle? C'est une façon de voir les choses dans l'optique novatrice. On peut aussi affirmer qu'il serait possible d'exclure à priori, par la conception même du réacteur, l'éventualité, même très peu probable, d'un grave endommagement du cœur, pour commencer, ce qui aurait pour résultat final une bien meilleure acceptation du nucléaire par le public.

La simplification et le renforcement de l'aptitude du réacteur à résister aux défaillances du matériel et aux erreurs des opérateurs sont aussi un objectif explicite de la conception évolutive. Il s'ensuit que la controverse entre évolution et innovation ne porte pas tant sur le but à atteindre, mais plutôt sur les moyens de l'atteindre et, de ce fait, revêt un caractère hautement technique.

Nombre de concepts nouveaux sont à l'examen depuis de nombreuses années. Les uns retiennent la technologie du réacteur à eau légère, d'autres s'inspirent de l'étude des réacteurs refroidis par un gaz ou un métal liquide. Quant à leur maturité, les projets s'échelonnent depuis le stade préconceptuel jusqu'à des plans déjà très détaillés soutenus par un gros travail spécifique de recherche et développement. On estime cependant, dans l'ensemble, que chaque concept devrait se matérialiser dans un prototype de taille industrielle avant de pouvoir être considéré comme une option de développement du nucléaire. Il se peut même que certains concepts doivent être soumis à priori à des tests de faisabilité.

Pour autant qu'ils visent l'amélioration de la sûreté, tous les concepts proposés ont en vue deux objectifs principaux. L'un consiste à réduire, voir à éliminer, la nécessité de l'intervention d'un opérateur quant il s'agit de juguler un accident grave, l'autre consiste à supprimer la nécessité d'une circulation forcée du caloporteur servant à extraire la chaleur résiduelle que tous les éléments combustibles pour réacteurs continuent d'émettre après l'arrêt de la réaction en chaîne. Cela signifie, dans ce contexte, l'absence de dispositifs rotatifs comme les pompes, ou d'énergie pour les faire fonctionner. Certains projets tentent de réaliser cette «élimination passive de la chaleur résiduelle», comme on l'appelle souvent, également dans les cas où le système de refroidissement du réacteur comporte une fuite accidentelle.

Bien que différentes entre elles, toutes les conceptions nouvelles prévoient le maximum possible de protection intégrée contre les accidents. Aucun événement initiateur, telle une coupure d'alimentation électrique due à un fort orage, ne devrait s'aggraver au point de compromettre l'intégrité des éléments combustibles. Parmi les trois impératifs énoncés par INSAG — à savoir la commande de la puissance du réacteur, le refroidissement du combustible et le confinement de la

radioactivité — les conceptions nouvelles insistent sur les deux premiers. Elles accordent donc le maximum d'importance au préventif, conformément aux principes de la défense en profondeur et au principe d'INSAG selon lequel «le moyen prioritaire de réaliser la sûreté est la prévention des accidents, en particulier de ceux qui pourraient entraîner un endommagement grave du cœur».

On ne saurait donc reprocher à l'innovation de s'écarter des principes établis, ce qui est un aspect stratégique important. Bien au contraire. Le prix en investissement ne semble pas trop élevé toutefois, et il faut rechercher et obtenir un allègement autre part dans le projet en réduisant certaines exigences techniques.

Les conceptions nouvelles impliquent moins de «culture de sûreté» que ce n'est actuellement le cas avec les réacteurs classiques car, en cas d'urgence, la réaction de l'opérateur ou la fonction de certains systèmes dans certains cas ne sont pas décisifs pour assurer la protection voulue. Il est assez surprenant que l'erreur, l'inaction ou même la malveillance de l'opérateur soit jugée bien moins dangereuse pour la sûreté que les défaillances du matériel. On peut en tirer deux conclusions. La première rendrait hommage à la défense en profondeur. La redondance, la diversité et la séparation physique ainsi que le souci de la sûreté chez l'opérateur («culture de sûreté») ont de toute évidence fait la preuve convaincante de leur efficacité et de leur valeur. La seconde conclusion est la suivante: si la simplification des systèmes et l'amélioration des interfaces homme-machine demandent une automatisation encore plus poussée — objectif explicite pour les centrales évolutives — on pourrait considérer que les problèmes relatifs aux opérateurs sont considérablement atténués. En d'autres termes, une bonne partie de ce qui pousse à l'innovation peut aussi être réalisée par la conception évolutive.

Eclaircissement et harmonisation

Un des objectifs proposés par les partisans des réacteurs de conception nouvelle est de présenter des modèles «de conception déterministe sûre». Cela veut dire qu'il faudrait qu'un degré suffisant de protection du public soit prouvé sans recours prioritaire à des arguments probabilistes. Tant que cela ne sera pas compris comme signifiant que «absolument rien ne peut arriver dans aucune circonstance», affirmation très difficile à défendre, les extrêmes de l'approche évolutive et de l'approche novatrice peuvent vraisemblablement se rejoindre. En effet, les deux tendent en fin de compte à démontrer que les accidents ayant de graves conséquences pour le public peuvent être exclus. Les moyens d'atteindre ce but sont déterministes dans les deux cas. Avec la conception évolutive, l'objectif est atteint par des dispositifs successifs de protection et d'atténuation dans le cadre de la défense en profondeur. Les

projets innovateurs veulent introduire des caractéristiques spécifiques telles que de grandes sources froides temporaires et des moyens passifs, comme on dit parfois, de dissiper la chaleur de désintégration.

Les réacteurs dits de «conception déterministe» peuvent comporter des caractéristiques intrinsèques, passives, actives et autres permettant d'atteindre ce but ultime qu'est la protection du public des conséquences graves d'un accident. La confusion que créent des termes comme passif, intrinsèque ou tolérant, employés à tort quant il s'agit de l'ensemble d'une centrale, mais parfaitement corrects lorsqu'ils s'appliquent à des systèmes ou à des fonctions spécifiques, serait en grande partie dissipée. Cela aiderait beaucoup le public car, ce qu'il veut réellement, c'est savoir si un accident peut oui ou non lui causer des dommages plutôt que devoir se prononcer sur des détails techniques sans avoir les connaissances nécessaires.

Les analyses probabilistes demeureront nécessaires pour savoir quelles sont les séquences d'événements accidentels qui appellent une protection déterministe, en ce qui concerne les centrales tant évolutives que de conception nouvelle. Il faut bien préciser que la conception déterministe de la sûreté signifie seulement en fin de compte que les conséquences graves sont si peu probables qu'il faut les accepter comme n'importe quelle autre grande catastrophe.

Les probabilités à cet égard sont suffisamment faibles pour ce qui est des centrales évolutives de l'avenir; il n'est pas nécessaire que les centrales de conception nouvelle fassent mieux. Cela étant admis, on peut dire que les deux types sont sûrs du point de vue déterministe. Quant au public, le doute est levé et une opinion contraire est indéfendable.

C'est aux spécialistes de la communauté nucléaire qu'il appartient de discuter la question. Le débat consiste moins à savoir quelle conception est la plus sûre, quel qu'en soit le coût, qu'à déterminer quelle conception assure la production le moins chère à un degré de sûreté généralement accepté.

Motivations et limitations pour l'avenir

Motivations. Les raisons de sûreté ne sont pas la justification première des concepts novateurs. Ceux-ci doivent répondre à d'autres besoins dont le plus important est probablement de pouvoir satisfaire à la demande croissante d'énergie dans le monde et de contribuer simultanément à réduire l'effet de serre.

La simplification est un des buts essentiels à atteindre avec la prochaine génération de centrales évolutives dans les pays industriels. Quel poids supplémentaire cet objectif aura-t-il pour les pays moins développés qui devront «opter nucléaire» dans le contexte dont nous venons de parler? Il est presque inconcevable que les pays industriels puissent assumer une augmentation de cinq à dix fois, selon

les estimations, de la puissance installée par rapport à celle d'aujourd'hui. Les exigences a priori d'une bonne culture de sûreté et d'une infrastructure adaptée font sérieusement obstacle à une augmentation substantielle du parc nucléaire mondial. Il est indispensable d'en évaluer les coûts car ils influenceront sur les choix à faire. Si les coûts sont élevés, et c'est à prévoir, cela vaut peut-être la peine de chercher à aménager la situation. En revanche, si l'on peut trouver une formule de «culture de sûreté à profil bas», des problèmes surgiront. Premièrement, comment pourrait-elle exister à la longue avec les approches traditionnelles? Les organes réglementaires pourraient-ils accepter deux catégories de réacteurs? Deuxièmement, y aura-t-il des clients pour admettre que c'est cette formule particulière qu'il leur faut parce qu'il leur est impossible de faire mieux? N'auront-ils pas l'impression d'être discriminés?

Pour obtenir le degré de sûreté souhaité, il faut toujours combiner judicieusement trois qualités essentielles: celle de l'installation elle-même, celle de l'infrastructure existante, par exemple le réseau, et celle des opérateurs qualifiés. Si les deux dernières sont insuffisantes, c'est la machine qui devra compenser. Si l'on dispose d'un réacteur qui en est capable, quelles seraient les conséquences de sa réimportation dans un pays industriel? Cela signifierait-il l'introduction d'une nouvelle norme que l'organisme réglementaire doit rendre obligatoire?

Limitations. Il existe de toute manière de sérieuses limitations qui entravent l'expansion rapide nucléaire, qu'elles tiennent à l'évolution ou à l'innovation. Sans parler des questions de rentabilité, de stockage définitif des déchets, de rénovation de centrales défectueuses, et de non-prolifération, les principales limitations, qui deviennent presque des critères, sont les suivantes: le public doit connaître et comprendre les avantages que présente l'énergie nucléaire et donc admettre qu'elle est souhaitable, et même nécessaire. Le public des pays industriels doit aussi comprendre que l'expansion du nucléaire dans les pays en développement va exiger un effort financier considérable. Enfin, la promotion des concepts novateurs ne doit pas être menée de façon à mettre en question ce qu'il est prévu de faire dans un avenir proche avec les concepts évolutifs. Si cela n'est pas compris, il est possible que l'option nucléaire se perde à jamais. Passer outre ces limitations est une tâche monumentale. Il semblerait souhaitable d'élaborer un plan directeur bien adapté qui définisse précisément les diverses activités à entreprendre, et comment les mener, afin de stimuler une reprise et une expansion vigoureuses du nucléaire à partir de la deuxième décennie du siècle prochain. L'AIEA serait l'institution idéale pour élaborer ce plan.