

Réacteurs avancés: considérations sur l'environnement et la sûreté

*Point de vue international
sur la prochaine génération de centrales nucléaires*

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

Tout au long de l'étude des utilisations civiles de l'énergie nucléaire, il a été de la plus haute importance d'assurer et de maintenir un haut niveau de sûreté. La sûreté non seulement fait l'objet d'études prudentes et bien conçues, fondées sur des travaux expérimentaux approfondis et sur la recherche et le développement analytiques, mais elle a aussi fait appel à des contrôles et des pratiques de qualité au point de vue de la fabrication des composants, de la construction, de l'exploitation, de la maintenance et de la gestion des centrales.

Au cours des 30 dernières années, les centrales nucléaires civiles ont accumulé dans le monde entier plus de 5600 années-réacteur de production d'électricité. Il y a eu deux accidents graves, mais un seul a eu des conséquences considérables en dehors du site. Dans l'ensemble, les centrales nucléaires ont un dossier de sûreté très satisfaisant.

Les centrales nucléaires avancées sont censées égaler ou améliorer les caractéristiques de sûreté des meilleures centrales actuellement en exploitation. Dans une large mesure, les efforts sont guidés par ce que l'on a appelé une culture de la sûreté, dont la mise en œuvre est devenue une condition *sine qua non* pour l'application de programmes nucléo-électriques dans chaque pays. Cette expression exprime fondamentalement la recherche en cours de l'excellence de la filière en général, et portant entre autres sur l'infrastructure technique et la gestion associées à la conception, à la construction ainsi qu'à l'exploitation des centrales nucléaires.

En profitant au maximum des travaux de recherche et de l'expérience d'exploitation accumulée par plus de 400 centrales dans le monde entier, ce travail est devenu l'élément moteur du progrès technique. Une conséquence importante de cette approche évolutive est qu'elle repose sur la sûreté d'exploitation de la majeure partie des centrales nucléaires de la génération actuelle, sans la remettre en question.

M. Kabanov et M. Kupitz sont de hauts fonctionnaires de la Division de l'énergie et de la sûreté nucléaires de l'AIEA. M. Goetzmann est un spécialiste prêt à titre gracieux à la Division.

Emergence d'un consensus sur les principes de sûreté

A l'échelle internationale, les activités relatives à la sûreté qui visent à appuyer la mise au point de la prochaine génération de centrales nucléaires suscitent beaucoup d'intérêt.

En septembre 1991, les participants à la conférence internationale sur la sûreté nucléaire de l'AIEA ont recommandé que l'Agence prenne un certain nombre de mesures. Les participants ont, en particulier, fortement conseillé à l'AIEA d'appuyer les travaux de ses Etats Membres en vue d'établir un consensus international sur les objectifs de sûreté des générations futures de centrales nucléaires et de déterminer les caractéristiques et les principes de sûreté appropriés. Il a été recommandé de suivre une approche graduelle débouchant sur l'établissement d'un ensemble exhaustif de critères de sûreté pour lesquels les documents du Groupe consultatif international pour la sûreté nucléaire (INSAG) pourraient fournir des données importantes.

Entre autres objectifs, le niveau de sûreté de la prochaine génération de centrales nucléaires doit être amélioré de façon que le risque d'un rejet accidentel de matières radioactives dans l'environnement soit encore inférieur aux valeurs actuelles. Le principe de défense en profondeur, établi depuis déjà longtemps, continue d'être le moyen fondamental d'assurer la sûreté. Sa mise en œuvre comprend l'utilisation de niveaux successifs de protection qui comportent des barrières physiques indépendantes destinées à empêcher la libération de matières radioactives dans l'environnement ainsi que des dispositifs redondants et des séparations spatiales visant à assurer une protection contre les défaillances séquentielles. Les quatre barrières comprennent essentiellement la matrice du combustible, la gaine du combustible, le circuit du fluide de refroidissement et la structure de confinement.

De nos jours, les concepteurs de réacteurs nucléaires s'efforcent d'améliorer ces barrières, et le niveau de protection qu'offre chacune d'elles, de manière à atteindre un niveau de sûreté global amélioré. Mais, en réalisant cet objectif, il n'est pas nécessaire que chaque barrière et le niveau de protection qui lui est associé soient pondérés de la

même façon. De toute évidence, l'amélioration de la première barrière diminue le fardeau des barrières suivantes; il en va de même pour la deuxième barrière, et ainsi de suite. En outre, en plaçant une plus haute priorité sur les premières barrières, l'investissement placé dans la centrale serait garanti et les matières radioactives seraient retenues plus près de la source.

Même si toutes les conceptions offrent une protection à chaque stade, le degré varie d'un concept à l'autre. Les conceptions évolutives ont été examinées de façon critique et elles ont amélioré les quatre barrières. Dans les conceptions innovatrices, les quatre barrières ont également été examinées. Mais, dans certains cas, on a fortement mis l'accent sur la deuxième, c'est-à-dire dans le but d'empêcher une rupture de gaine. L'intérêt des propriétaires à protéger leur investissement et à réduire l'émission de produits de fission accorde davantage d'importance à la prévention des accidents, ce qui tend également à donner la prépondérance aux premières barrières.

L'étude des réacteurs s'internationalise

Un tour d'horizon permettrait de mettre facilement en évidence, dans le monde entier, plus de 40 modèles de centrales nucléaires qui se trouvent actuellement à divers stades de mise au point, témoignage impressionnant de la confiance en l'avenir de l'énergie nucléaire (voir le tableau). En raison de cette profusion, nous ne ferons dans cet article que des commentaires sur les tendances générales.

L'éventail, en tenant compte à la fois du stade de maturité et de la base d'expérience, est dominé par les conceptions évolutives des grands réacteurs refroidis par eau, suivis par les centrales de taille moyenne du même type qui font une large place aux

dispositifs passifs en vue de présenter une meilleure tenue aux accidents. Un troisième groupe, souvent appelé conceptions innovatrices, comprend les réacteurs à eau ordinaire encore plus petits et présentant des modifications plus importantes, les réacteurs à haute température refroidis par gaz ainsi que les réacteurs refroidis par métal liquide.

On peut noter une tendance au renforcement de la collaboration internationale dans l'étude des réacteurs avancés. Par exemple:

- les Etats-Unis avec le Japon et la République de Corée pour les réacteurs à eau ordinaire avancés (ALWR);
- le Canada avec la République de Corée pour les réacteurs à eau lourde sous pression (PHWR);
- la France et l'Allemagne en Europe pour les ALWR;
- les pays européens pour la mise au point du réacteur surgénérateur rapide.

Par ailleurs, d'autres pays, tels que la Fédération de Russie, s'efforcent aussi d'obtenir une collaboration internationale plus importante.

Malgré le grand nombre de concepts pris en considération et le grand nombre de bureaux d'études, les buts visés sont simples et peu nombreux: conserver et améliorer les avantages économiques et la sûreté de l'énergie nucléaire. En général, il semble que l'on soit d'accord pour étendre les principes fondamentaux de sûreté des centrales nucléaires, fondés sur l'expérience d'exploitation, énoncés par l'INSAG, et comme l'a proposé celui-ci, aux éléments particuliers suivants des futures centrales nucléaires:

- méthodes d'exploitation et de maintenance;
- conceptions simplifiées et plus pratiques pour l'utilisateur;
- conception visant un confinement systématique des produits de fission en cas d'accident grave;

Désignation	Type	Puissance (MWe)	Fournisseur/Concepteur	Pays
N4	PWR	1400	Framatome	France
CONVOY B	PWR	1350	Siemens	Allemagne
EPR	PWR	1400-1500	NPI (Framatome/Siemens)	Allemagne/France
SYSTEM 80 +	PWR	1300	ABB/Combustion Eng.	Suède
ABWR	BWR	1300	GE/Hitachi/Toshiba	Etats-Unis/Japon
BWR 90	BWR	1100	Asea Brown Boveri (ABB)	Suède
EFR	FBR	1500	European Fast Reactor Associates	Allemagne/Belgique/ France/Italie/ Royaume-Uni
CANDU	PHWR	600-900	EACL	Canada
CANDU-3	PHWR	480	EACL	Canada
AP-600	PWR	600	Westinghouse	Etats-Unis
VVER 500/600	PWR	635	Hydropress/autres	Fédération de Russie
SBWR	BWR	600	General Electric (GE)	Etats-Unis
PIUS	PWR	600	ABB	Suède
VPBER-600	PWR	600	OKBM	Fédération de Russie
MHTGR	HTGR	4 × 170	General Atomics	Etats-Unis
		4 × 80	Siemens/ABB	Allemagne/Suède
PRISM	LMR	3 × 150	General Electric	Etats-Unis

Exemples de centrales nucléaires avancées en cours de réalisation dans le monde

- réduction de la probabilité d'accidents importants et de leurs conséquences possibles par la mise en œuvre des dispositifs intégrés au concept;
- protection à l'aide de dispositifs prévus par le concepteur contre le sabotage et les attaques à l'aide d'armes conventionnelles;
- prise en compte de dispositifs de sûreté passifs.

Nous allons examiner quelques-uns des points les plus importants de cette liste, qui se veut équilibrée.

L'expérience d'exploitation est fondamentale

L'expérience d'exploitation des centrales nucléaires existantes joue un rôle important dans la conception de la prochaine génération de centrales nucléaires. Toutes les conceptions de réacteurs avancés ont tenu compte le plus possible de l'expérience antérieure. Certains des modèles les plus innovateurs peuvent comporter par définition des dispositifs ou autres éléments non encore éprouvés.

Tout dispositif faisant partie d'un modèle dont la démonstration n'a pas encore été faite ne doit inclure que des composants ou des systèmes qui ont fait l'objet d'une étude complète et d'essais de prototype au niveau du composant, du système ou de la centrale, selon le cas. Les épreuves de fonctionnement, notamment celles concernant la sûreté de certains des modèles les plus innovateurs, peuvent nécessiter une centrale de démonstration en vraie grandeur.

Facteurs humains. De par sa conception, une centrale avancée doit être facile à exploiter, de façon que l'opérateur puisse comprendre aisément son comportement et, en conséquence, que la possibilité d'erreur humaine puisse être réduite.

Les conceptions prévoient, dans la mesure du possible, des réponses automatiques aux situations anormales en accordant une période suffisante (délai de grâce) pendant laquelle l'opérateur n'a pas à intervenir. Cela donne le temps à celui-ci d'évaluer l'événement et l'état de la centrale et, après mûre réflexion, de mettre en service les mesures qui s'imposent.

L'interface homme-machine est également améliorée en mettant à profit les derniers progrès techniques dans les domaines de l'électronique, de l'affichage numérique et de l'informatique, comme par exemple les microprocesseurs, les écrans de visualisation, le multiplexage, les fibres optiques, etc. Les affichages d'alarme et commandes hiérarchiques et organisés, les systèmes experts et les systèmes de diagnostic améliorés sont des technologies dont on peut tirer le plus grand profit dans la conception de centrales nucléaires avancées.

Les nouveaux modèles sont axés sur la simplification

On estime qu'un grand nombre de modèles de centrales actuelles sont inutilement difficiles à exploiter, à inspecter, à entretenir et à réparer. Cette

complexité inutile est à l'origine d'une foule de problèmes et on étudie donc en priorité la simplification de la conception, et tout particulièrement lorsque la sûreté opérationnelle est en cause.

La simplification est à l'ordre du jour pour chacun des aspects de la conception et de l'exploitation des centrales avancées. L'idée fondamentale de la simplification est de n'incorporer dans la conception que des systèmes qui remplissent des fonctions essentielles, et de diminuer la complexité en étendant les marges de sécurité dans les calculs ou en utilisant des systèmes passifs pour les fonctions essentielles, de sorte que les commandes compliquées deviennent superflues.

La simplicité d'exploitation des centrales facilitera la tâche de l'opérateur et aidera par conséquent à réduire l'erreur humaine. En dernier lieu, on estime généralement que la simplicité de fabrication et de construction constitue une priorité.

Par définition, les dispositifs de sûreté passifs ne font pas appel aux interventions humaines et sont en outre indépendants, dans une certaine mesure, de l'alimentation électrique, de signaux ou de forces extérieurs. Ils utilisent au contraire les sources de puissance motrice généralement disponibles, telles que la circulation naturelle, et des mécanismes d'actionnement tels que les clapets de retenue.

Il existe plusieurs niveaux de passivité, et notamment des systèmes qui sont mis en œuvre par une commande active mais qui fonctionnent passivement. L'utilisation de dispositifs de sûreté passifs dans une centrale nucléaire est une méthode souhaitable de simplification et d'augmentation de la fiabilité des fonctions de sûreté essentielles, c'est-à-dire la commande et l'arrêt du réacteur, le refroidissement du cœur et de l'enclume de confinement, et la rétention des produits de fission.

Les systèmes passifs tendent également à diminuer le nombre des dispositifs redondants, les complexités d'exploitation et les interventions nécessaires de l'opérateur. Ils offrent la possibilité d'atteindre une plus grande fiabilité et ils présentent moins d'incertitudes de fonctionnement que les systèmes actifs. Un aspect important des systèmes passifs est qu'ils dépendent uniquement des sources d'énergie emmagasinée, facilement accessible et peuvent, par conséquent, fonctionner lors d'une panne d'alimentation électrique dans la centrale. Quelques centrales actuelles utilisent déjà des dispositifs passifs. On envisage de s'en servir de plus en plus dans les systèmes de sûreté de nombreuses centrales avancées.

La sûreté nucléaire: évaluations probabilistes et autres méthodes d'analyse

Il est généralement reconnu que les évaluations probabilistes de la sûreté (EPS) sont très importantes pour déceler les faiblesses dans une configuration particulière d'un modèle. Elles donnent également

une bonne idée des scénarios d'accident éventuels. Divers groupes ont proposé, dans plusieurs cas, des objectifs d'EPS, malgré leurs limitations manifestes. Selon l'INSAG, par exemple, les objectifs minimums pour les futures centrales seraient les suivants:

- fréquence de graves dommages dans le cœur réduite à 10^{-5} par année-réacteur;
- fréquence de rejets importants en dehors des limites du site réduite à 10^{-6} par année-réacteur.

Ces valeurs cibles sont des objectifs d'étude. Il n'a pas encore été démontré qu'elles peuvent être atteintes dans le cas de chaque modèle, même si certains concepteurs visent des valeurs inférieures. Toutefois, on estime en général qu'il est possible de parvenir à ces ordres de grandeur.

Pendant, la prudence dans le cadre du concept de la défense en profondeur exige que l'on utilise les méthodes non probabilistes, telles que l'analyse déterministe et le bon jugement technique, en particulier si l'EPS indique une très faible probabilité d'accidents. Cette approche dualiste offre la plus grande assurance que la puissance du cœur est contrôlée, qu'un refroidissement suffisant est maintenu, que les matières radioactives sont retenues en toute sûreté, ce qui constitue les éléments essentiels de la sûreté nucléaire.

Les centrales nucléaires avancées: leurs avantages pour l'environnement

De nombreux opposants au nucléaire admettent que l'énergie nucléaire offrirait des avantages importants pour l'environnement par rapport aux moyens classiques de production d'électricité en quantité suffisante et à des prix intéressants, si, en tout premier lieu, les questions d'accident grave étaient résolues à leur satisfaction. Les conceptions de la prochaine génération de centrales nucléaires placent ce sujet au premier plan.

Les centrales actuelles répondent à des spécifications prudentes dans le cadre d'un ensemble d'accidents de référence pris en compte pour les autorisations. Les centrales de l'avenir répondront à ces mêmes critères à des fins d'autorisation et, en outre, leur conception tiendra compte explicitement et systématiquement d'événements présentant même une probabilité plus faible.

De nombreuses approches sont à l'étude dans un nouveau cadre commun de principes généraux de sûreté. Bien que ceux-ci puissent présenter des différences de détail, de gros efforts sont consentis en vue de réduire les conséquences de tout accident en dehors du site à un niveau négligeable, quelle que soit la gravité de l'accident. Ce principe a toujours fait partie de la doctrine fondamentale de la sûreté.

Les accidents graves crédibles ont été analysés en profondeur et retenus dans la base de calcul, et la centrale a été conçue avec des barrières suffisantes pour éviter ces accidents et en réduire les conséquences. Etant donné que des séquences d'événements moins crédibles pourraient survenir, des

marges de sécurité très importantes et des contre-mesures en dehors du site ont été jugées nécessaires.

En conséquence, les plans d'urgence des centrales nucléaires, par rapport aux plans d'urgence prévus dans le cas des autres activités industrielles, ont dû obligatoirement comprendre des dispositions complexes en vue d'abriter ou d'évacuer rapidement la population. Ces dispositions et les exigences d'alerte rapide qu'elles comportent ont placé de lourdes responsabilités sur le propriétaire de la centrale et sur les divers organismes publics qui doivent agir rapidement. Certaines études et évaluations récentes de scénarios d'accidents nucléaires indiquent qu'une évacuation rapide peut ne pas être nécessaire pour la sécurité du public, et qu'une approche mieux organisée s'impose.

Les concepteurs et les utilisateurs des centrales nucléaires futures ont donc porté leur attention sur des analyses d'accident et des stratégies de protection plus réalistes, ainsi que sur des dispositifs de prévention et de réduction des effets ayant pour but de retarder d'un laps de temps raisonnable la nécessité d'abriter ou d'évacuer la population et, si possible, d'établir une base technique solide permettant d'éviter d'avoir recours à de telles mesures. De même, en raison de l'accident de Tchernobyl, on s'est efforcé récemment d'éliminer la contamination de la terre et des cours d'eau environnants qui pourrait avoir un effet important sur la santé du public, ou au moins de réduire cette contamination dans l'espace et dans le temps. En particulier, on a insisté sur le fait que la contamination ne doit pas nécessiter le déplacement à long terme d'un grand nombre de personnes.

L'amélioration de toutes les barrières selon le principe de la défense en profondeur, comprenant notamment une gestion appropriée des accidents conjuguée à l'utilisation des résultats de la recherche moderne et d'une analyse plus réaliste des accidents, a maintenant fourni les bases techniques pour réduire au minimum et retarder les rejets de matières radioactives. Cela permettrait de simplifier les plans d'urgence prévus pour les réacteurs avancés et, par le fait même, de favoriser une meilleure acceptation du nucléaire par le public.

La réduction de la radioexposition professionnelle, une production de déchets réduite au minimum et l'amélioration du cycle du combustible sont autant de facteurs qui tendent aussi à réduire l'impact des centrales nucléaires avancées sur l'environnement.

L'excellence technique facilite l'acceptation

Les filières nucléaires avancées tireront profit tant de l'expérience acquise avec les filières actuelles que des résultats des travaux de recherche-développement dans le monde entier. Les améliorations de la sûreté et les avantages économiques peuvent aller de pair, en particulier lorsqu'un haut niveau de normalisation est recherché.

Les modèles avancés améliorent les barrières selon le principe de la défense en profondeur, au point où toutes les conséquences des accidents graves éventuels en dehors du site peuvent être gérées en mettant en œuvre une planification d'urgence très simplifiée.

Le succès de ces divers modèles ne dépend pas que de leur excellence technique. Il est également lié à la compréhension et à l'acceptation de l'énergie nucléaire par le public et les décideurs, c'est-à-dire à une opinion publique généralement favorable au nucléaire.

La prochaine génération: Bibliographie technique

Voici quelques titres d'ouvrages techniques récemment publiés par l'AIEA:

Culture de sûreté, Rapport du Groupe consultatif international pour la sûreté nucléaire (INSAG), Collection Sécurité de l'AIEA 75-INSAG-4, Vienne (1991).

The Safety of Nuclear Power: Strategy for the Future, compte rendu d'une conférence réunie du 2 au 6 septembre 1991, AIEA, Vienne (1992).

Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, Collection Sécurité de l'AIEA 75-INSAG-3, Vienne (1988).

The Safety of Nuclear Power, Collection Sécurité de l'AIEA 75-INSAG-5, Vienne (1992).

Status of Advanced Technology and Design for Water Cooled Reactors: Light Water Reactors, IAEA-TECDOC-479, Vienne (1988).

Status of Advanced Technology and Design for Water Cooled Reactors: Heavy Water Reactors, IAEA-TECDOC-510, Vienne (1989).

Gas Cooled Reactor Design and Safety, Collection Rapports techniques de l'AIEA n° 312, Vienne (1990).

Safety Related Terms for Advanced Nuclear Plants, IAEA-TECDOC-626, Vienne (1991).

Safety of Nuclear Installations: Future Direction, IAEA-TECDOC-550, Vienne (1990).

Plus de 40 modèles de centrales nucléaires de la prochaine génération sont à l'étude dans le monde. (Photo: Mitsubishi)

