

Quelques enjeux actuels du contrôle de la sûreté des réacteurs nucléaires

Three Mile Island en 1979, Tchernobyl en 1985 : l'histoire du nucléaire civil aussi a été jalonnée d'accidents, de remises en causes et de progrès dans la gestion des risques. Etudes probabilistes de sûreté dans la démonstration de sûreté des réacteurs, contrôle des facteurs organisationnels et humains, harmonisation européenne : trois exemples de mise en œuvre de la politique d'amélioration continue de la sûreté nucléaire appliquée aux réacteurs sous le contrôle de l'Autorité de sûreté nucléaire. Et trois illustrations du bénéfice des collaborations internationales et des apports des autres secteurs industriels. Là aussi, pour progresser il importe de rester attentif à ce qui se fait « ailleurs ».

par Pierre CHARPENTIER, Olivier GUPTA, *Autorité de sûreté nucléaire (ASN)*

De la même façon que les accidents de Seveso en 1976 ou de l'usine AZF à Toulouse en 2001 ont marqué l'histoire des installations industrielles, les accidents de Three Mile Island en 1979 et de Tchernobyl en 1985 ont marqué l'histoire du nucléaire civil. Ces accidents ont été à l'origine d'une remise en cause des acteurs concernés, et les enseignements qui en ont été tirés ont permis de faire progresser différents aspects de la gestion des risques. Au-delà de ces événements, il importe que l'ensemble des acteurs du nucléaire s'attache à faire progresser la sûreté : c'est l'objectif de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

Cet article illustre comment se matérialise cette politique d'amélioration continue de la sûreté. Il aborde ainsi trois thématiques de natures assez différentes et qui, bien que chacune à divers stades de développement, constituent des sujets d'actualité sur lesquels la réflexion demeure intense, au plan national et international. Ils concernent le domaine de la sûreté des réacteurs nucléaires, même si le nucléaire ne saurait s'y limiter.

Ainsi, la réalisation d'études probabilistes en complément à la démonstration déterministe de sûreté des réacteurs a permis des progrès significatifs, principalement au plan de la conception des matériels. L'usage de ces études est maintenant très répandu, mais la manière de les utiliser fait encore l'objet de discussions au plan international.

La principale marge de progrès réside désormais dans la prise en compte des facteurs organisationnels et humains. Initialement oubliés au profit d'une approche technicienne, puis considérés comme une source d'erreurs, ils sont aujourd'hui appréhendés comme un élément essentiel à la sûreté.

Enfin, faire progresser la sûreté nécessite également d'être attentif aux mutations du contexte dans lequel les acteurs industriels évoluent. L'enjeu est aujourd'hui de prendre en compte l'internationalisation de ce secteur et l'ouverture des marchés de l'électricité à la concurrence.

La démonstration de sûreté des réacteurs et les études probabilistes

À l'origine, la démonstration de la sûreté des réacteurs nucléaires reposait exclusivement sur une approche déterministe, c'est-à-dire dans laquelle les dispositions de conception sont justifiées par l'étude d'un nombre limité d'accidents « de dimensionnement » et par l'application de règles et de critères qui incluent des marges et des conservatismes. La première étude quantitative globale du risque, l'étude Rasmussen, date de 1975. C'est le premier exemple d'étude probabiliste de sûreté (EPS). Ces études ont connu par la suite un développement important, et sont venues compléter l'approche déterministe. Les EPS sont une méthode d'évaluation des risques fondée sur une investigation systématique des scénarios accidentels. Elles reposent sur un ensemble de données tirées de l'expérience du fonctionnement des réacteurs nucléaires.

On définit une situation redoutée (fusion du cœur, rejet hors de l'enceinte de confinement ou conséquences sanitaires et socioéconomiques), puis, à partir d'une liste la plus complète possible d'événements initiateurs (1), auxquels sont associées des fréquences d'occurrences annuelles, on construit des arbres d'événements (2). À chaque sollicitation des automatismes ou intervention des opérateurs pour tenter de ramener le réacteur vers un état sûr, est affectée une probabilité de réussite (1-p) ou d'échec p.

Trois types d'EPS peuvent être élaborées, suivant les conséquences étudiées :

- ✓ une EPS de niveau 1 permet d'identifier les séquences menant à la fusion du cœur et de déterminer leurs fréquences ;
- ✓ une EPS de niveau 2 permet d'évaluer la nature, l'importance et les fréquences des rejets hors de l'enceinte de confinement ;

- ✓ une EPS de niveau 3 permet d'évaluer les fréquences calculées de conséquences exprimées en termes dosimétriques ou en termes de contamination (voire en termes de fréquence de cancers ou d'autres effets sur la santé).

Les EPS permettent d'obtenir une vue globale de la sûreté, intégrant aussi bien le fonctionnement des équipements que le comportement des opérateurs. À ce titre, elles aident à estimer le caractère satisfaisant des dispositions retenues sur la base de l'approche déterministe et permettent d'identifier des évolutions tant de la conception que de l'exploitation qui conduiraient à améliorer le niveau de sûreté. En outre, elles permettent de hiérarchiser les problèmes de sûreté relatifs à la conception ou à l'exploitation des réacteurs et constituent un outil de dialogue entre les exploitants et l'ASN. En France, depuis 1990, l'utilisation des EPS est devenue courante pour conforter ou compléter les analyses de sûreté déterministes classiques, en particulier dans le cadre des réexamens de sûreté qui ont lieu tous les dix ans. Les EPS utilisées en France ont par exemple mis en lumière une sous-estimation des risques, avant les années 1990, dans les situations où les réacteurs sont à l'arrêt, et ont permis de définir des améliorations de sûreté. Quant aux futurs réacteurs, le développement des EPS s'effectue en même temps que se précise la conception, de façon à mettre en évidence des situations comportant des défaillances multiples dont il faudra travailler à réduire la fréquence ou à limiter les conséquences.

Les EPS ont connu ces dernières années un développement important dans le monde. L'Autorité de sûreté américaine, la NRC, a ainsi développé la notion de *risk-based decision making*, c'est-à-dire de processus décisionnel basé sur la quantification du risque par l'intermédiaire d'une EPS. Ce concept, à première vue séduisant, visait, sous la pression des exploitants, à débarrasser la réglementation américaine en sûreté nucléaire de certaines exigences, supposées inutiles car imposant des contraintes sans que celles-ci soient justifiées au plan des enjeux de sûreté. Il s'agissait par exemple de diminuer la maintenance sur les matériels dont la défaillance contribuait peu ou pas au risque de fusion du cœur du réacteur calculé par une EPS.

Son utilisation repose toutefois sur une hypothèse hardie : celle que l'EPS représente parfaitement la réalité physique de l'installation. Or les résultats des EPS doivent être utilisés avec prudence, compte tenu de certaines limites et incertitudes.

Les limites en termes d'exhaustivité des EPS concernent en particulier :

- ✓ le domaine couvert (certaines agressions internes ou externes ne sont pas traitées) ;
- ✓ la difficulté de modéliser l'intégralité des systèmes de la centrale ;
- ✓ la prise en compte des interventions humaines.

Par ailleurs, les principales incertitudes associées aux EPS concernent, d'une part, les données quantitatives d'entrée (données de fiabilité notamment) et, d'autre part, les simplifications et les hypothèses prises en compte (3) : quel crédit accorder à une EPS fondée sur des données de fiabilité

récoltées sur une période de fonctionnement des matériels de quelques années seulement, sur une installation spécifique ?

Cette approche *risk-based* a ensuite été remplacée par le *risk-informed decision making*, c'est-à-dire un processus décisionnel dans lequel le résultat des EPS n'est qu'une donnée d'entrée mais pas la seule, ce qui paraît plus raisonnable. Les discussions internationales sont toutefois encore intenses sur ce sujet, car la notion de *risk-informed* n'est pas encore appliquée de la même manière dans tous les pays.

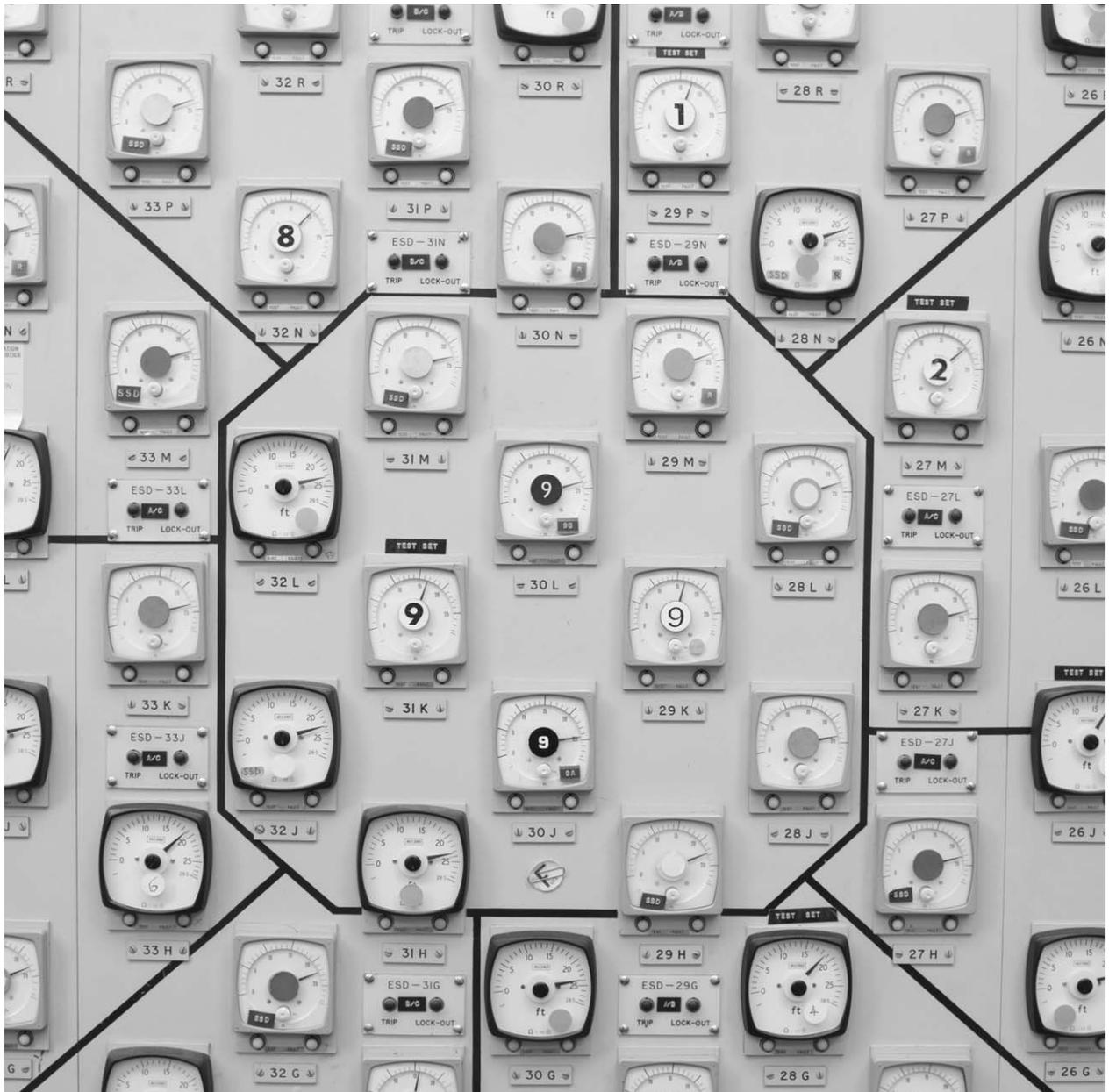
Le contrôle des facteurs organisationnels et humains

À l'origine, la sûreté nucléaire était entendue essentiellement comme la sûreté des matériels : pertinence de la conception, adéquation de la maintenance et des procédures d'exploitation au plan technique. Ces dispositions devaient permettre d'écarter le risque d'erreur humaine. Le rôle des organisations dans la sûreté n'était pas pris en compte. Les analyses des accidents de Three Mile Island et de Tchernobyl, en particulier, ont mis en évidence le rôle majeur joué par les hommes et les organisations dans la sûreté.

L'accident de Three Mile Island a montré que l'erreur humaine pouvait se produire en dépit du niveau de qualité de la conception et des procédures, et qu'elle pouvait conduire à des conséquences dommageables pour la sûreté. Les travaux menés à la suite de cet accident se sont attachés à comprendre les mécanismes sous-jacents à la survenue d'erreurs humaines afin de les prévenir. Ces travaux ont notamment concerné l'ergonomie des interfaces homme-machine dans les salles de commande, l'amélioration des procédures de conduite, les entraînements sur simulateur et l'organisation des activités de la conduite.

Les progrès technologiques ont permis de réduire peu à peu la fréquence des pannes et les défaillances des systèmes à risques, et les progrès de l'automatisation dans ces systèmes ont réduit la part de l'intervention humaine. Mais ces progrès n'ont pas suffi à résoudre toutes les difficultés. Si l'homme est considéré comme source d'erreurs dans le système, on a aussi pris conscience qu'il contribue à la sûreté par son intelligence et ses capacités d'adaptation ; il peut faire face mieux que la machine à des situations imprévues, ou rattraper des situations où la conception ou les procédures sont défaillantes.

Au-delà de la prise de conscience du rôle de l'individu, l'accident de Tchernobyl a quant à lui mis en évidence le fait que les organisations contribuent de manière fondamentale à la sûreté. Ont ainsi émergé les notions de « culture de sûreté », puis de management de la sûreté. Cette notion de culture de sûreté est de l'ordre des valeurs que chacun accorde à la sûreté, et doit se manifester par une attitude interrogative, une démarche rigoureuse et prudente, et une bonne communication entre individus sur le terrain. Elle implique également les managers des organisations, auxquels il est demandé qu'ils s'engagent pour la sûreté.



© Peter Marlow/MAGNUM PHOTOS

Les travaux menés à la suite de l'accident de Three Mile Island se sont attachés à comprendre les mécanismes sous-jacents à la survenue d'erreurs humaines afin de les prévenir. Ils ont notamment concerné l'ergonomie des interfaces homme-machine dans les salles de commande, l'amélioration des procédures de conduite, les entraînements sur simulateur et l'organisation des activités de la conduite.

Il est maintenant reconnu que la performance humaine, et donc la capacité des agents et des organisations à remplir leur fonction de façon efficace et sûre, est conditionnée par plusieurs facteurs, tels que : les capacités et les limites humaines, les compétences, le fonctionnement des collectifs de travail et des organisations en place, les procédures et prescriptions d'exploitation, la qualité de l'interface homme-machine des équipements techniques de l'installation et des outils de travail ou encore les contraintes liées à l'environnement de travail.

Les facteurs organisationnels et humains sont maintenant reconnus à leur juste place, et font explicitement partie des points contrôlés par l'ASN. Ainsi, en 2000, l'ASN avait placé la centrale nucléaire de Dampierre sous « sur-

veillance renforcée ». Des dysfonctionnements importants avaient en effet été constatés et notamment :

- ✓ un manque de rigueur dans l'exploitation, cause d'un nombre important d'incidents sur le site en 1999 et 2000. L'un de ces incidents, qui portait sur une erreur de rédaction dans une procédure de conduite, a été classé au niveau 2 de l'échelle INES ;
- ✓ une dégradation des relations humaines et sociales, susceptible d'avoir des conséquences sur la sûreté et qui réduisait la capacité de la centrale à redresser la situation.

La « surveillance renforcée » a consisté en un resserrement des actions de contrôle et une vigilance accrue sur les problèmes organisationnels et les incidents, afin d'apprécier

les résultats du plan d'actions mis en place par la direction de la centrale. Cette surveillance a été levée au bout d'un an et demi, après que l'ASN a constaté une amélioration de la situation.

L'analyse du retour d'expérience montre que 80 % des incidents survenant sur les installations ont au moins une cause liée aux facteurs humains et organisationnels. Bien des progrès ont été faits en matière de sûreté des matériels, grâce notamment au processus des réexamens décennaux de sûreté. Le domaine des facteurs organisationnels et humains demeure ainsi un des plus grands gisements d'améliorations de la sûreté.

L'ouverture du marché de l'électricité à la concurrence et l'harmonisation de la sûreté

La libéralisation du marché de l'électricité et l'internationalisation du secteur nucléaire - dont une bonne illustration est le choix récent, par l'électricien finlandais TVÖ, d'un réacteur de conception franco-allemande EPR - constituent des mutations majeures du contexte économique dans lequel évoluent les acteurs du nucléaire. Les pouvoirs publics ont à prendre en compte ces nouveaux éléments afin d'évaluer leur impact et d'exercer un contrôle pertinent.

La libéralisation du marché de l'électricité a été initiée en Europe par la directive du 19 décembre 1996 sur le marché intérieur de l'électricité, transposée en droit français par la loi du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité. Cette loi, qui précise les missions de service public d'EDF, met l'entreprise en situation de concurrence pour la production et la fourniture d'électricité. En 2007, le marché français de l'électricité sera totalement ouvert. À quoi il faut ajouter le changement de statut d'EDF, en août 2004, puis, en novembre 2005, son entrée en bourse, l'État restant actionnaire à hauteur de 86 %.

Une situation comparable existe à l'étranger, sans que cela se traduise par une mise en danger de la sûreté. Pour un exploitant, la recherche de la performance économique n'est pas forcément antinomique de la recherche d'une sûreté accrue. Cependant, l'ASN doit rester vigilante pour éviter que les changements en cours ne se traduisent par une dérive du niveau de sûreté.

La préoccupation de la maîtrise des coûts est aujourd'hui plus affirmée par l'exploitant dans son dialogue avec l'ASN. Le dialogue technique avec EDF s'est clairement durci sur les aspects de faisabilité économique, sur la justification de certaines demandes ou de certains échéanciers, et sur le traitement des dossiers de très court terme lors des arrêts de réacteurs.

Une réflexion plus globale a été engagée et se poursuit quant à l'impact potentiel sur la sûreté des évolutions du marché de l'électricité et des nouvelles pratiques mises en œuvre ou prévues par l'exploitant, et sur les actions que l'ASN pourrait mener à ce sujet. Plusieurs axes de travail ont déjà été engagés.

L'ASN a ainsi développé des outils de contrôle pour repérer de manière précoce d'éventuelles dérives : la situation

économique, l'évolution des dépenses, la gestion des effectifs et les changements d'organisation de l'exploitant font l'objet d'une attention accrue.

Un deuxième axe est la mise en place d'un dialogue plus franc et responsable avec l'exploitant sur les enjeux économiques. Les analyses visant à mettre en regard le coût avec le bénéfice tiré pour la sûreté, qui permettent de choisir, à moyens financiers donnés, les actions qui procurent le gain le plus important en termes de sûreté, sont l'un des instruments de ce dialogue.

L'élaboration d'un cadre juridique clarifié et renforcé est également un moyen de répondre à ce nouveau contexte. La loi sur la transparence et la sécurité en matière nucléaire en est une composante, de même que le système de décisions et de mises en demeure mis en place par l'ASN. En complément, l'ASN a entamé la rédaction de plusieurs textes de réglementation technique générale.

Enfin, l'harmonisation des approches en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection constitue le quatrième axe de travail en réponse à l'évolution du contexte économique et à l'ouverture des marchés de l'électricité. Il s'agit, pour les Autorités de sûreté nucléaire des différents pays, de veiller à ce que la concurrence accrue n'engendre pas un nivellement de la sûreté par le bas, et à ce qu'au contraire le niveau de sûreté progresse encore. Il est donc important de développer une approche commune de la sûreté nucléaire, et d'exiger qu'elle soit la priorité pour les exploitants.

Les membres de l'association WENRA (4), association créée en 1999 à l'initiative de l'ASN et qui regroupe les 17 chefs des Autorités de sûreté des pays « nucléaires » de l'Union européenne et de la Suisse, ont entrepris depuis plusieurs années un programme d'harmonisation des règles techniques dans deux domaines : la sûreté des réacteurs électronucléaires existants et la gestion des déchets radioactifs et du démantèlement.

Un jeu de « niveaux de référence » de sûreté communs, largement inspirés des documents de l'Agence internationale de l'énergie atomique, a été élaboré, et la situation de chacun des pays examinée. Ce travail a été publié sur le site Internet de l'association WENRA et les différentes parties intéressées ont pu exprimer leurs commentaires. Les membres de WENRA se sont engagés à transcrire les « niveaux de référence », dans leur réglementation nationale afin d'aboutir, en 2010, à une situation harmonisée.

Conclusion

La place des études probabilistes de sûreté dans la démonstration de sûreté des réacteurs, le contrôle des facteurs organisationnels et humains, l'harmonisation européenne de la sûreté : trois exemples de mise en œuvre de la politique d'amélioration continue de la sûreté nucléaire. Dans les trois cas, ces améliorations sont le fruit de réflexions au plan international. Au-delà, les idées qui ont présidé à ces démarches ne sont pas spécifiques au nucléaire ; par exemple, s'agissant de l'harmonisation de la sûreté, une démarche analogue a été menée par les responsables du contrôle de la sécurité dans l'aviation civile.

Pour beaucoup, les progrès faits s'appuient sur la mise en commun de réflexions et de pratiques, tant dans le même domaine au niveau international qu'entre différents secteurs concernés par la gestion des risques (nucléaire, aviation, chimie, santé publique...) : pour progresser, il importe de rester attentif à ce qui se fait « ailleurs ».

Notes

(1) Un événement initiateur est un événement qui perturbe le fonctionnement normal de l'installation, conduisant à une dérive de certains paramètres de l'installation (pression, température, réactivité...) à partir duquel une séquence accidentelle peut se développer.

(2) La méthode de l'arbre d'événements est une méthode inductive consistant à envisager, de manière systématique, pour un événement initiateur, le succès ou l'échec des systèmes et actions de conduite mis

en œuvre pour arrêter la progression de l'incident ou de l'accident. Un arbre d'événements est un schéma logique permettant de définir les séquences accidentelles. Chaque branche de l'arbre d'événements est constituée de combinaisons de succès ou d'échec des systèmes et actions de conduite et correspond à une séquence.

(3) Parmi les incertitudes engendrées par les simplifications et inhérentes aux hypothèses effectuées pour la modélisation et la quantification, peuvent être cités, de manière non exhaustive, les choix de regroupement des événements initiateurs, les choix de scénarios pour les calculs thermohydrauliques et neutroniques supports, les incertitudes sur les résultats de ces calculs, les incertitudes liées à la connaissance des phénomènes, les incertitudes liées à la modélisation des actions humaines, à la modélisation et à l'estimation de la fiabilité des logiciels, à l'estimation de la fiabilité des équipements fonctionnant au-delà de leurs conditions de qualification, au choix des méthodes probabilistes.

(4) Association des responsables des autorités de sûreté nucléaire d'Europe de l'Ouest.