

Centrales nucléaires plus sûres grâce à l'analyse probabiliste

L'analyse probabiliste de la sûreté rend de multiples services

par L. Lederman et B. Tomic

Héritière et suite logique de l'ancienne discipline qu'était l'examen de la fiabilité, l'analyse probabiliste de la sûreté (APS) des centrales nucléaires industrielles a fait son apparition vers le milieu des années 70. Plus de 70 APS ont déjà été faites dans le monde. Ces études permettent d'acquérir une information sur la sûreté que l'on ne saurait obtenir par d'autres moyens. Dans la plupart des pays possédant un parc nucléaire, l'APS est désormais la méthode couramment utilisée pour évaluer la sûreté des centrales.

En bref, il s'agit d'une méthode de modélisation de la réponse d'une centrale à une série d'événements déclencheurs qui risqueraient de nuire à la sûreté d'exploitation. Pour réaliser cette modélisation, il faut disposer d'une information précise sur la conception et le fonctionnement de la centrale. Des modèles fondamentaux (tels les arbres de défaillances ou d'événements) sont élaborés pour déterminer les voies du succès ou de l'échec. L'analyse de ces modèles doit tenir compte d'un certain nombre de facteurs dont les défaillances accidentelles de composants, les défaillances ayant une cause commune, les erreurs humaines et la stratégie des essais et de l'exploitation.

Dans certains cas, les compagnies d'électricité ont fait procéder à des APS à la demande de l'autorité réglementaire ou pour prouver que l'exploitation des centrales nucléaires comportait peu de risques pour le public (ce fut le cas de la centrale de Zion aux Etats-Unis et de la centrale de Sizewell au Royaume-Uni). Dans d'autres cas, les analyses de la sûreté ont été patronnées par les organismes réglementaires eux-mêmes, afin de promouvoir l'usage de cette méthode. Dans le même temps, la technique d'analyse s'est perfectionnée et l'exploitation des résultats en vue d'améliorer la sûreté d'exploitation des centrales s'est généralisée.

Collaboration des exploitants

L'expérience montre que l'attitude de l'exploitant vis-à-vis de l'analyse, plus encore que le coût proprement dit de l'opération, détermine la qualité de l'étude et l'utilité de ses résultats. Aussi importe-il que l'exploitant, et notamment son personnel d'exploitation, participe dès le début à l'élaboration du modèle de centrale.

On s'assure ainsi que l'étude se fonde sur des considérations réalistes, telles que la liste complète des événements déclencheurs d'accident et leurs combinaisons, la réponse de l'installation et les interactions des systèmes, les critères de réussite appliqués aux systèmes de première ligne, les modalités d'essai et de maintenance, les modalités d'exploitation et les interventions des opérateurs.

L'analyse de la sûreté d'une centrale devrait se fonder sur toute l'information disponible sur place, y compris l'expérience d'exploitation. Il est très important, par ailleurs, que la direction de la centrale et celle de la compagnie s'engagent à prendre les mesures nécessaires pour opérer les modifications de conception ou de mode d'exploitation recommandées à la suite de l'analyse.

En novembre 1988, la Commission de réglementation nucléaire des Etats-Unis a demandé aux compagnies d'électricité de procéder à un examen de chacune de leurs centrales pour déterminer leur vulnérabilité en cas d'accidents graves définis dans un contexte probabiliste. Cette demande favorise un recours plus fréquent à l'analyse probabiliste de la sûreté et engage les exploitants, autant qu'il est possible, à prendre leurs responsabilités.

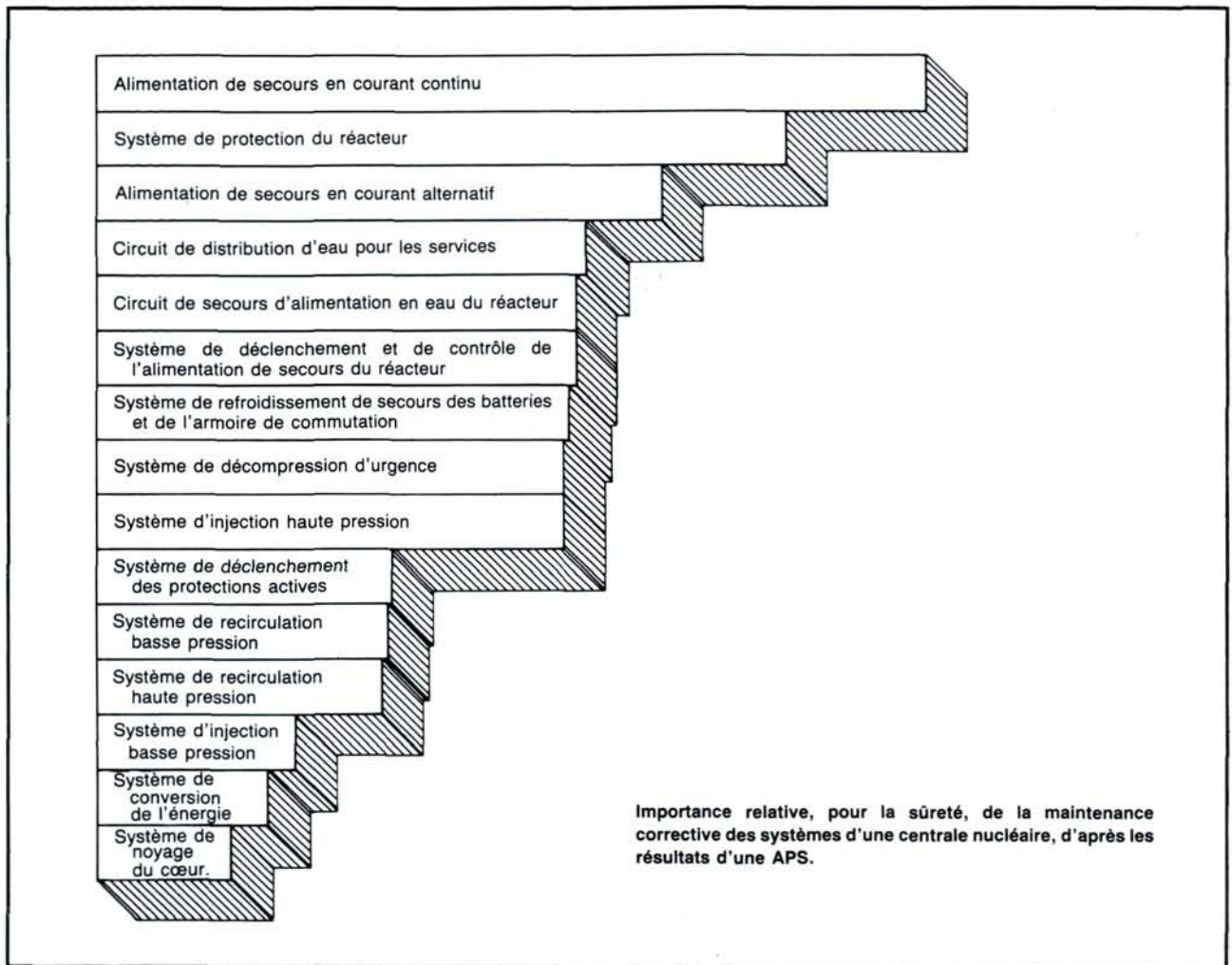
Dans d'autres pays, notamment en Espagne et en Suède, les compagnies d'électricité ont été invitées à procéder à des évaluations probabilistes de la sûreté. En France, l'EDF est sur le point de terminer une étude entièrement fondée sur l'information et les données concernant une certaine centrale, qui sera d'ailleurs représentative de plusieurs centrales du même type.

L'APS actualisée

La nature même de l'analyse probabiliste de la sûreté, c'est-à-dire la modélisation détaillée de systèmes et la représentation de séquences d'événements accidentels à base de défaillances de composants principaux et d'interventions humaines, ne permet pas toujours à ceux qui n'ont pas participé à l'examen initial d'en comprendre parfaitement les résultats et de les exploiter. Il n'est pas rare qu'un rapport d'APS comporte plus de dix gros volumes. De fait, le compte rendu de certaines études récentes comporte plus de 10 000 pages d'annexes décrivant des modèles détaillés de systèmes.

Lorsque l'analyse est terminée, il faut la mettre constamment à jour et présenter les résultats sous une forme qui permette une interrogation et une restitution

M. Lederman et M. Tomic sont membres de la Division de la sûreté nucléaire de l'AIEA.



faciles de l'information. Telle est l'origine de la notion «APS actualisée» et de l'intérêt croissant qu'elle suscite.

Les perfectionnements du matériel informatique, en particulier l'accroissement de la puissance des ordinateurs de bureau, contribuent à satisfaire ces besoins. On a mis au point des logiciels pour petits ordinateurs qui permettent de rechercher sélectivement les résultats d'APS et de mettre à jour les modèles et les données. (Un de ces logiciels est brièvement décrit ci-après.)

Ces perfectionnements ont permis de mieux exploiter une grande partie des données fournies par l'analyse probabiliste. Ils permettent aussi de ne plus considérer une donnée fondamentale telle que la fréquence des fusions totales du cœur comme l'information principale à extraire des résultats d'une analyse. De fait, ceux-ci offrent un large éventail de données utiles que la direction des centrales peut exploiter pour gérer de façon plus rationnelle les ressources dont elle dispose (voir la figure).

Exploitation des résultats d'une APS

En gros, les analyses probabilistes de la sûreté servent généralement à deux fins: l'adaptation des matériels

et la direction de l'exploitation (directives d'exploitation, évaluation de l'état de la centrale et formation des opérateurs).

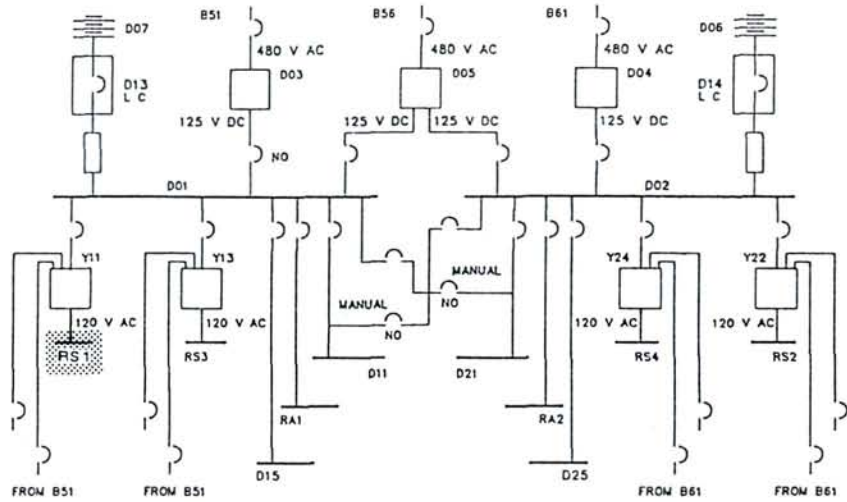
Adaptation des matériels. Une APS permet généralement de préciser les points de la conception d'une installation qu'il y aurait tout intérêt à améliorer. Il arrive souvent que l'exploitant utilise ces indications pour étudier des modifications de la conception et pour évaluer les incidences sur la sûreté d'une modification proposée ou exigée par l'organisme réglementaire.

Un étude récente de l'institut américain de recherche sur l'énergie électrique fait état de l'application pratique des résultats de 26 APS par 10 compagnies d'électricité*. Voici quelques exemples de l'intérêt que l'APS d'une centrale peut présenter pour l'exploitant:

- A la centrale Millstone-1 (Connecticut), l'organisme réglementaire a demandé le remplacement de certaines jauges de niveau; après avoir démontré que cette modification n'avait aucun effet sur la sûreté, il a été proposé et accepté d'opérer une autre modification qui représentait une économie de quelque 250 000 dollars. En une

* "The Practical Application of Probabilistic Risk Assessment", EPRI, NP-5664 (mars 1988).

DC POWER SYSTEM SCHEMATIC



SYSTEM MENU

▶ END OF INPUT

Un logiciel d'exploitation des résultats des APS aux fins de la gestion de la sûreté des centrales nucléaires a été mis au point pour les petits ordinateurs. La figure représente deux affichages obtenus avec le programme PRISIM. Le premier, en haut, montre le schéma d'alimentation de la centrale en courant continu; le second précise les risques que l'on court si la barre omnibus de 120 V est hors de service. Un menu indique la rubrique à consulter pour obtenir des renseignements complémentaires. (Ce logiciel n'existe qu'en anglais.)

RISK IMPLICATIONS OF THE CURRENT PLANT STATUS

11 IS THE RISK FACTOR WITH THE FOLLOWING EQUIPMENT OUT OF SERVICE

120 V AC Bus RS1 Fails to Provide Power

MENU FOR ADDITIONAL INFORMATION

- ▶ 1. Ranking of safety-related equipment
- 2. Ranking of core melt scenarios
- 3. Improvement from repair
- 4. Return to Control Screen

autre occasion, la direction de la centrale a pu obtenir une exemption de certaines spécifications pour plusieurs vannes automatiques, ce qui a permis d'économiser entre 2 et 3 millions de dollars et d'éviter les radio-expositions professionnelles que le travail aurait causées.

● A la centrale Yankee (Massachusetts), l'exemption de certaines spécifications réglementaires imposées à

diverses pénétrations de l'enveloppe de confinement a permis d'économiser 16 millions de dollars. Dans la même centrale, un assez grave défaut de conception a été relevé au niveau de l'alimentation électrique des vannes du circuit de refroidissement du groupe électrogène-diesel.

● A la centrale de Big Rock Point (Michigan), la solution positive d'une longue liste de problèmes de

réglementation a permis de réaliser des économies évaluées à un total de 20 à 40 millions de dollars. L'exploitation précise que la centrale peut être maintenue en exploitation grâce à l'analyse probabiliste de la sûreté.

● A la centrale de Catawbe (Caroline du Sud), le risque de défaillance d'un système en cas de panne générale de courant dans la centrale a été détecté et éliminé.

Direction de l'exploitation. Les autorités compétentes des pays possédant des centrales nucléaires ont fixé des limites et conditions qui constituent les spécifications techniques d'exploitation des centrales nucléaires et qui ont pour objet, dans leur ensemble, de limiter ou de minimiser le risque global.

La plupart du temps, les spécifications techniques sont dictées par l'appréciation de l'ingénieur ou par le sens commun, et il se peut qu'elles ne soient pas optimisées du point de vue de la sûreté. Certaines exigences risquent d'être gênantes pour le personnel d'exploitation et de mener à des radioexpositions inutiles. En pareil cas, les résultats d'une APS peuvent servir à déterminer les spécifications techniques à imposer. Ils sont aussi d'une grande utilité quand il s'agit de justifier le fondement technique de certaines conditions d'exploitation, notamment la périodicité des vérifications et des arrêts autorisés.

Les vérifications ont pour objet de détecter les possibilités de défaillance et, de ce fait, servent à limiter les risques. En revanche, si elles sont trop fréquentes, elles peuvent elles-mêmes accroître le risque, par exemple en provoquant des transitoires ou du fait de la mise hors de service momentanée du matériel. Du point de vue de l'exploitation, il vaudrait mieux que les vérifications soient très espacées, mais ce ne serait peut-être pas dans l'intérêt de la sûreté générale de l'installation. On est en présence du même dilemme pour ce qui est de la durée des arrêts autorisés.

On a constaté, là aussi, que les résultats de l'APS pouvaient utilement contribuer à l'analyse des spécifications techniques régissant les vérifications et les arrêts, dans l'intérêt d'une meilleure gestion de la sûreté générale de la centrale, tout en ménageant une plus grande souplesse d'exploitation. Cette évaluation des spécifications techniques à partir des données d'une APS est notamment pratiquée aux Etats-Unis et dans les pays scandinaves.

Surveillance de l'état de la centrale. Récemment encore, l'abondante information produite par une APS était essentiellement exploitée d'une façon statique et dans certaines limites, car les modifications, même mineures, qui sont nécessaires pour tenir compte des configurations réelles des systèmes en fonctionnement exigent que l'on refasse beaucoup de calculs.

En 1987, l'AIEA a organisé une réunion pour examiner les tentatives qui ont été faites pour utiliser les données de l'APS aux fins de la gestion courante de la sûreté d'exploitation, avec l'aide des ordinateurs individuels*. Un logiciel dénommé PRISIM a été

présenté à la réunion; utilisable sur ces petits ordinateurs, il permet de rechercher dans les résultats d'une APS les données qui peuvent être utiles au personnel de la centrale et aux inspecteurs. Les opérateurs peuvent employer ce logiciel pour déterminer par exemple les incidences que peut avoir sur la sûreté la mise hors de service momentanée, pour vérification ou maintenance, de certains ensembles de matériel. Quant aux inspecteurs, ils peuvent accéder rapidement sur place à l'information APS pour prendre leur décision, par exemple lorsqu'il s'agit de remettre en service un matériel mis à l'arrêt ou de s'assurer qu'un autre matériel est en bon état de marche, ou encore de fixer les dates de futures inspections d'après les probabilités

Activités de l'AIEA relatives à l'APS

Domaine	Activité
Echange d'informations scientifiques	<ul style="list-style-type: none"> ● Réunions de comités techniques, colloques, séminaires, conférences et publications correspondantes
Elaboration de normes	<ul style="list-style-type: none"> ● Directives pour l'exécution d'APS dans les centrales nucléaires ● Précisions sur les probabilités d'erreurs humaines ● Précisions sur les risques extérieurs ● Précisions sur les défaillances ayant une cause commune ● Précisions sur les codes informatiques pour l'APS ● Précisions sur l'acquisition et l'analyse de données concernant la fiabilité ● Précisions sur les procédures d'examen par des spécialistes ● Critères probabilistes de sûreté
Formation	<ul style="list-style-type: none"> ● Cours pour les chefs d'équipes d'APS ● Cours pour les analystes ● Groupes de travail sur divers problèmes d'APS
Assistance et coopération techniques	<ul style="list-style-type: none"> ● Missions dans les pays Membres pour aider à planifier et à exécuter les programmes d'APS
Promotion de la recherche appliquée	<ul style="list-style-type: none"> ● Programme de recherche coordonnée sur l'acquisition et l'analyse des données pour les APS ● Programme de recherche coordonnée pour l'étude de séquences types d'accident
Opérations et services	<ul style="list-style-type: none"> ● Equipes internationales spécialisées pour l'examen des résultats des APS dans les pays Membres ● Evaluation de l'expérience d'exploitation des centrales nucléaires à l'aide des résultats de l'APS ● Exploitation des résultats de l'APS pour la gestion de la sûreté d'exploitation des centrales nucléaires (PSAPACK)

* Pour le compte rendu de la réunion, voir *Improving Operational Safety Management through PSA on Personal Computers*, IAEA-TECDOC-480 (1988). Voir également "PRISIM — A Computer Program that Enhances Operational Safety", par Fussel, J.B., NUREG/CR-5021, vol. 2 (mars 1988).

de défaillance de composants et de systèmes et en fonction de leur importance pour la sûreté d'exploitation (voir figure, page 41).

Formation des opérateurs. Les renseignements fournis par une APS sont d'une grande utilité pour la formation des opérateurs d'une centrale nucléaire, notamment en prévision des accidents graves. Les multiples scénarios possibles d'accident proposés par une APS contiennent des indications très utiles sur la réponse de l'installation à une large gamme d'événements déclencheurs d'accidents, déjà observés ou hypothétiques. Ces séquences combinent des défaillances multiples de systèmes avec des erreurs humaines, événements qui peuvent éventuellement aboutir à une détérioration du cœur mais qui, de par leur nature même, sont rares. C'est pourquoi les opérateurs de centrales nucléaires doivent néanmoins en être avertis. Il va de soi que la participation des opérateurs au développement d'une APS est un bon moyen de les former.

Les connaissances acquises grâce à une APS peuvent également servir à élaborer des modes d'exploitation d'urgence et peuvent être utiles pour la formation des opérateurs sur simulateur. Lors d'une réunion d'un comité technique de l'AIEA, un représentant de l'Electricité de France a expliqué comment deux scénarios d'accident fondés sur une APS ont été utilisés dans son service pour former des opérateurs sur simulateur total*.

Les activités de l'AIEA

Les initiatives récentes de l'AIEA dans le domaine de l'analyse probabiliste de la sûreté se sont fondées sur les

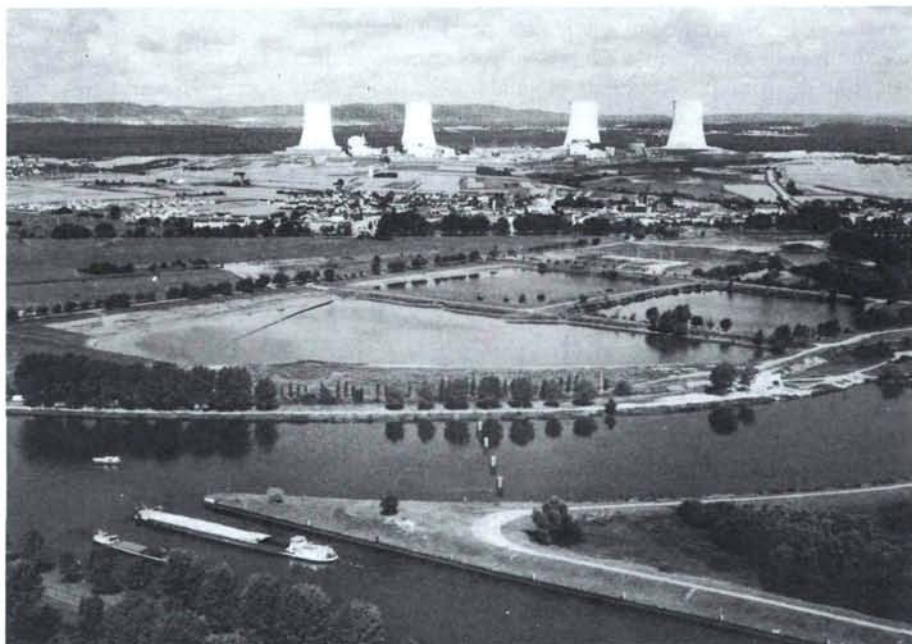
* Pour le compte rendu de la réunion, voir *Experience with Simulator Training for Emergency Conditions*, IAEA-TECDOC-443 (1987).

priorités instamment recommandées à la suite de l'examen de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986. Le programme d'APS comporte trois volets: 1) promouvoir, assister et faciliter l'exploitation des résultats des APS en étudiant les méthodes mises au point à cette fin dans les pays Membres; 2) contribuer à l'élaboration de directives à cette même fin; 3) aider les Etats Membres à appliquer ces directives de façon à améliorer la sûreté de tous les modes d'exploitation des centrales nucléaires (voir l'encadré).

Les directives envisagées concernent l'établissement d'un schéma cohérent pour l'exécution d'une APS et la présentation de ses résultats. Ces directives seront publiées dans un prochain numéro de la Collection Sécurité de l'AIEA. La documentation relative à l'analyse, ainsi que l'énoncé et l'interprétation de ses résultats, fait l'objet d'une attention spéciale. L'intention est d'aplanir les difficultés résultant de la complexité et de la diversité des rapports d'APS.

Quant à la rapidité et à la facilité d'accès à l'information APS, dont le besoin se fait sentir, l'AIEA a mis au point un progiciel spécialement étudié pour l'APS (PSAPACK). Par ailleurs, une extension du programme est en cours; elle vise à faciliter encore l'exploitation des résultats des APS. Le progiciel PSAPACK, qui est conçu pour être utilisé sur les ordinateurs personnels, a été largement diffusé par l'AIEA.

Vu l'utilité de ses applications pratiques dans le domaine général de la gestion et de l'évaluation de la sûreté des centrales nucléaires, l'analyse probabiliste s'avérera également très utile dans d'autres domaines des activités de l'AIEA concernant la sûreté, notamment les examens de la sûreté d'exploitation des centrales, l'étude d'indicateurs numériques de la performance et de l'évolution d'une centrale, et l'évaluation de l'importance, du point de vue de la sûreté, des événements anormaux qui peuvent survenir.



La centrale nucléaire française de Cattenom. (Photo: Framatome)