

L'évaluation probabiliste de la sûreté

Cette méthode est maintenant au service de la sûreté du réacteur

par Luis Lederman

La méthode probabiliste d'évaluation de la fiabilité et de la sûreté suscite de nos jours un vif intérêt dans le domaine nucléaire et dans d'autres. Ce n'est pourtant pas une idée nouvelle. Elle remonte au moins au début des années 1940, époque à laquelle on a proposé pour la première fois que des critères probabilistes quantitatifs soient appliqués dans l'industrie aéronautique en matière de sûreté. C'est alors qu'on a quantifié la probabilité d'un accident d'avion: un accident par 100 000 heures de vol.

En 1942, l'étude des échecs répétés du programme allemand des fusées V-2 a mis en évidence la notion de dépendance entre les diverses parties d'un système, qui représentait un pas en avant par rapport à l'idée généralement admise selon laquelle un système ne vaut pas plus que sa partie la plus faible. C'est alors que la méthode de l'analyse logique intégrée des systèmes a fait son apparition. Les vingt années suivantes ont vu les notions initiales se préciser et se développer, notamment grâce à la création de modèles statistiques pour l'analyse des défaillances des composants et de la théorie de la fiabilité.

De nouveaux progrès ont été faits en 1960 lors de l'emploi de l'analyse logique dans le cadre du programme Apollo de la NASA (Agence aéronautique et spatiale des Etats-Unis). C'est alors qu'a été adopté un instrument important dénommé «effet du mode de défaillance et analyse de criticité». En 1962 les laboratoires de la société Bell Telephone, aux Etats-Unis, ont eu recours à une méthode fondée sur la généalogie des défaillances dans une étude entreprise pour l'armée de l'air américaine sur la fiabilité du lancement et du guidage des missiles Minuteman. Dans le domaine de l'énergie nucléaire, c'est au Royaume-Uni que F.R. Farmer a proposé pour la première fois une limitation des rejets accidentels d'iode fondée sur la probabilité d'apparition du phénomène.

Le coup d'envoi à l'emploi de la méthode probabiliste pour évaluer la sûreté du réacteur nucléaire a été le rapport WASH-1400, généralement connu sous le titre «Etude sur la sûreté du réacteur» publié en 1975. On y trouve une analyse de deux réacteurs à eau légère (l'un à eau sous pression, l'autre à eau bouillante) sous l'angle des probabilités et des conséquences d'un accident éventuel.

Cette étude venait 18 ans après la première tentative d'analyse des conséquences éventuelles d'accidents catastrophiques survenant dans les installations nucléaires, parue sous la cote WASH-740. Elle envisageait, d'après des probabilités subjectives et des calculs des conséquences à l'extérieur, les étapes successives d'accidents survenant dans une centrale nucléaire. Cette pre-

mière étude resta toutefois sans portée pratique, à cause du manque d'information sur la conception des centrales et d'une connaissance insuffisante des méthodes nécessaires à une telle analyse.

Il n'en a pas été de même pour le rapport WASH-1400 qui, lui, n'est pas resté lettre morte. Il s'attachait à répondre aux trois questions fondamentales qui se posent dans une évaluation probabiliste de la sûreté:

- Que peut-il arriver?
- Avec quelle fréquence?
- Quelles en sont les conséquences?

WASH-1400 a fait appel aux nouvelles méthodes d'analyse de fiabilité, aux renseignements fournis par les industries nucléaires et autres, aux modèles statistiques et aux connaissances acquises sur les phénomènes de dégradation du cœur, d'émission de radionucléides, et de conséquences à l'extérieur du site. Il y est également fait état des défaillances humaines, des défaillances dues à des causes communes et de la propagation des incertitudes, malgré le peu de connaissances qu'on possédait à leur sujet.

La complexité de l'étude et les difficultés qu'a présentées la communication des résultats ont malheureusement rabaisé sa valeur quant à l'évaluation de la sûreté des réacteurs. En fait, ce rapport a été mal interprété, surtout à la suite d'un certain Rapport Lewis, sur l'analyse faite par un groupe d'études relevant de la Commission de réglementation nucléaire des Etats-Unis. Dès lors, les techniques probabilistes ont été très controversées.

L'accident de Three Mile Island, en 1979, a bouleversé la situation. Les groupes chargés d'en étudier les suites, et notamment la Commission Kemeny, ont vivement conseillé de recourir davantage aux techniques probabilistes. La Commission Kemeny a recommandé dans son rapport d'étudier en permanence et de manière approfondie les probabilités et les conséquences (sur place et hors du site) des accidents de centrales nucléaires, y compris les conséquences de la fusion du cœur, dans le cadre du programme officiel d'assurance de la sûreté.

De plus, quand on eut constaté que WASH-1400 avait prévu des suites d'événements semblables à celles qui avaient abouti à l'accident de TMI, on s'intéressa davantage à l'emploi des méthodes probabilistes dans le domaine de la sûreté nucléaire.

L'évaluation probabiliste à ce jour

Dix ans après la publication de WASH-1400 et six ans après l'accident de TMI, la technique probabiliste continue de s'affiner et devient un instrument utile pour évaluer la sûreté des réacteurs. Des sigles tels que EPR (évaluation probabiliste du risque), EPS (évaluation probabiliste de la sûreté) et d'autres encore sont entrés dans le langage courant de la sûreté nucléaire.

M. Lederman fait partie du personnel de la Division de la sûreté nucléaire de l'Agence.

De nombreuses EPS ont déjà été faites et de plus nombreuses encore sont en cours dans plusieurs pays. (L'AIEA a défini l'EPS comme étant l'application judicieuse des méthodes probabilistes d'évaluation du risque aux décisions relatives à la sûreté nucléaire). Le tableau joint donne le résultat de certaines de ces études.

Quelques études ont déjà été patronnées par les pouvoirs publics — notamment WASH-1400 aux Etats-Unis et une étude des risques en République fédérale d'Allemagne. D'autres ont été entièrement réalisées par l'industrie ou en coopération avec l'Etat.

Certaines de ces études ont été motivées par la nécessité d'améliorer la portée et la valeur de l'étude de la sûreté du réacteur. D'autres ont été effectuées en vue de recherches sur des centrales déterminées. Les compagnies d'électricité ont elles aussi entrepris des études, financées par l'industrie, avant d'entreprendre des modifications, pour former du personnel d'exploitation et aussi pour évaluer les risques que font courir au public les installations situées au voisinage des zones très peuplées. Aux Etats-Unis, l'étude de Big Rock Point vise le premier de ces objectifs et les études Zion et Indian Point le dernier.

Bien que dans la plupart des pays une évaluation probabiliste de la sûreté ne fasse pas partie intégrante de la procédure d'homologation, les études effectuées sont normalement soumises à l'examen des autorités réglementaires et les renseignements qu'on en tire

viennent appuyer les décisions relatives à la sûreté. En 1982, aux Etats-Unis, l'étude Limerick financée par l'industrie a été la première à répondre à une demande expresse des services d'homologation. Plus récemment, une évaluation probabiliste du risque a été présentée à la Commission de réglementation nucléaire des Etats-Unis dans le contexte d'un rapport de la General Electric sur l'analyse de la sûreté des installations normalisées.

Recherche de résultats pratiques

Les tendances actuelles de l'EPS ont été évoquées lors de plusieurs réunions récentes. A la réunion internationale de l'American Nuclear Society (ANS) et de la Société nucléaire européenne (SNE) sur les méthodes probabilistes et leur application à la sûreté tenue à San Francisco en mars dernier, l'importance des applications pratiques et les avantages réels des études probabilistes sur la sûreté ont été particulièrement soulignés. Les réunions antérieures tenues à ce sujet avaient surtout porté sur les méthodes. Nous exposons ci-après les points essentiels de quelques-unes des 190 communications présentées.

Les objectifs de la sûreté

Les moyens d'atteindre les objectifs de la sûreté ont été étudiés aux Etats-Unis et en Europe. L'évaluation est faite depuis 1983 par la Commission de réglementation nucléaire des Etats-Unis qui a conclu que la

Résultats d'une EPS — Fréquence des fusions du cœur

Centrale	Puissance nominale (MWe)	Type. Fournisseur des systèmes de sûreté	Date du programme	Probabilité de fusion du cœur (par an)
Arkansas-1	836	PWR, B & W	IREP, 1981	5×10^{-5}
Biblis B	1240	PWR, KWU	DRS, 1978	$4 \times 10^{-5*}$
Big Rock Point	71	BWR, GE	Utility, 1981	1×10^{-3}
Browns Ferry-1	1065	BWR, GE	IREP, 1981	2×10^{-4}
Calvert Cliffs-1	845	PWR, CE	RSSMAP, 1982	2×10^{-3}
Crystal River-3	797	PWR, B & W	IREP, 1980	4×10^{-4}
Grand Gulf-1	1250	BWR, GE	RSSMAP, 1981	4×10^{-5}
Indian Point-2	873	PWR, W	Utility, 1982	$4 \times 10^{-4*}$
Indian Point-3	965	PWR, W	Utility, 1982	$9 \times 10^{-5*}$
Limerick	1055	BWR, GE	Utility, 1982	$3 \times 10^{-5*}$
Millstone-1	652	BWR, GE	IREP, 1982	3×10^{-4}
Millstone-3	1150	PWR, W	Utility, 1983	1×10^{-4}
Oconee-3	860	PWR, B & W	RSSMAP, 1980	8×10^{-5}
Peach Bottom-2	1065	BWR, GE	WASH-1400, 1975	$3 \times 10^{-5*}$
Ringhals-2	800	PWR, W	SSPB, 1983	4×10^{-6}
Seabrook	1150	PWR, W	Utility, 1983	2×10^{-4}
Sequoyah-1	1148	PWR, W	RSSMAP, 1981	6×10^{-5}
Shoreham	819	BWR, GE	Utility, 1983	4×10^{-5}
Sizewell B	1200	PWR, W	CEGB, 1982	1×10^{-6}
Surry-1	788	PWR, W	WASH-1400, 1975	$6 \times 10^{-5*}$
Yankee Rowe	175	PWR, W	Utility, 1982	2×10^{-6}
Zion	1040	PWR, W	Utility, 1981	$7 \times 10^{-5*}$

Note: Le tableau tient compte, le cas échéant, de la contribution des événements extérieurs. Les valeurs indiquées ne doivent être comparées qu'avec une extrême prudence. Des modèles, des hypothèses et des degrés de complexité différents ont été utilisés.

* Les valeurs marquées d'un astérisque sont des valeurs médianes; les autres sont des estimations ponctuelles.

Source: *Risk Analysis*, Vol.4 (décembre 1984).

définition des objectifs de la sûreté pouvait figurer dans la procédure réglementaire pour perfectionner les méthodes traditionnelles d'examen de la sûreté. La Commission met toutefois en garde contre son utilisation dans le cadre d'une réglementation reposant sur des critères stricts d'acceptation ou de rejet. En Europe, un groupe de travail organisé en 1983 pour étudier la question s'est montré plus prudent encore dans ses premiers résultats. Les objectifs de sûreté définis à propos d'une analyse des risques peuvent orienter l'élaboration de la réglementation, encore qu'on ne sache pas encore très bien aujourd'hui comment la mise en œuvre pourra se faire.

Amélioration des bases de données

Plusieurs communications présentées à la réunion ANS/SNE ont traité des principales bases de données constituées aux Etats-Unis pour l'étude probabiliste de la sûreté. La situation qu'elles décrivent paraît très encourageante, surtout comparée à la «pauvreté des données» de l'industrie à l'époque de WASH-1400.

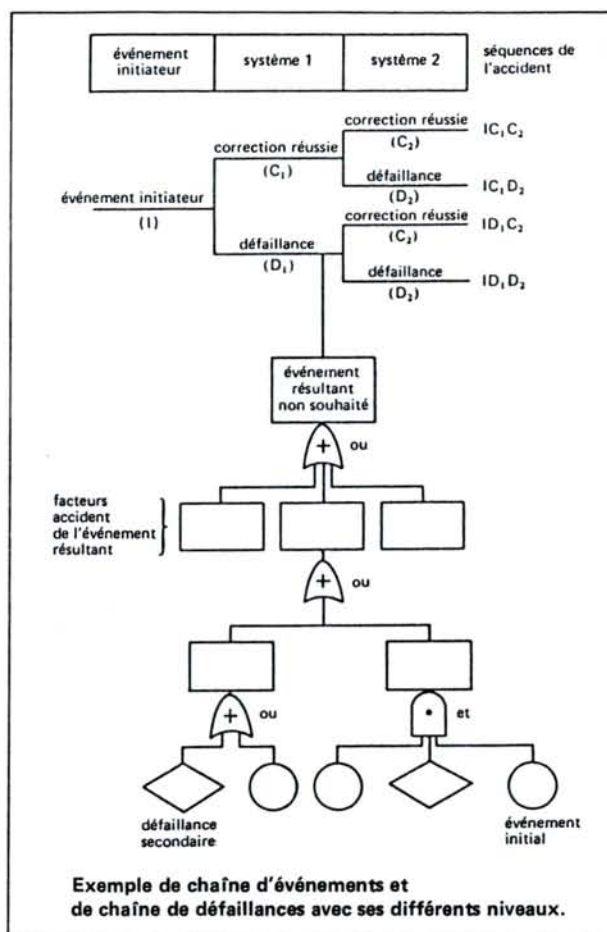
La base de données (Std. 500 1984) de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) semble bien près de pouvoir servir de norme pour l'étude des risques et de la fiabilité des installations nucléaires. Le développement et la restructuration du système de données sur la fiabilité des centrales nucléaires que gère l'Institute of Nuclear Power Operations (INPO) depuis 1983 montrent que ce système pourrait devenir une importante source de données dans l'avenir. Il recueillera de façon systématique et complète des données provenant de toutes les centrales nucléaires en service et offrira aussi des possibilités d'accès direct pour l'entrée et l'extraction de données.

La Banque européenne de données sur la fiabilité, système centralisé qui recueille et classe l'information ayant trait au fonctionnement des réacteurs à eau légère, a également fait l'objet d'un examen. L'accent a été mis sur le rôle croissant que pourront jouer les techniques fondées sur l'intelligence artificielle — telles que langage naturel et système expert, et logique floue — pour améliorer à l'avenir les capacités des quatre banques de données qui constituent le système, à savoir: banque de données sur les événements en cause, rapport sur l'état de l'installation en service, système de notification des événements anormaux et banque de données sur les paramètres de fiabilité.

Une description du programme d'acquisition et d'analyse de données sur l'erreur humaine, entrepris conjointement depuis 1982 par Electricité de France et INPO, a été présentée; les principaux points traités ont porté sur les facteurs cognitifs des erreurs humaines, les moments où sont commises les erreurs, le lieu, le temps qui sépare la commission de la détection, et les caractéristiques des tâches propices aux défaillances.

Les applications: un succès

Des rapports extrêmement positifs ont été présentés au sujet de l'emploi de l'analyse probabiliste de la sûreté par l'industrie et par les organes de réglementation. Les compagnies de services publics ont fait connaître les moyens dont elles disposent pour établir, employer et entretenir des modèles d'analyse probabiliste de la



sûreté pour leurs centrales. L'emploi de ces modèles pour la gestion de la sûreté et comme instrument de décision technique et opérationnelle est inclus dans un plan général portant sur les modifications à apporter aux installations et sur l'affectation des crédits.

Au nombre des applications signalées en matière de réglementation il faut citer une analyse probabiliste du choc thermique sous pression qui aide la Commission de réglementation nucléaire des Etats-Unis et l'industrie à résoudre ce problème. Elle permet notamment de déterminer les suites d'événements qui entraînent une fissure dans la paroi et de définir les mesures à prendre en matière d'exploitation et de commande.

Logiciel, guides et ressources de l'EPS

Les méthodes d'analyse probabiliste de la sûreté ont fait de grands progrès depuis la publication de WASH-1400. On s'est occupé des faiblesses signalées lors de l'étude Lewis, dont l'analyse de la fiabilité humaine, la constatation et le traitement des incertitudes dues aux paramètres, la modélisation et l'exhaustivité, la collecte et le traitement des données nécessaires à l'évaluation probabiliste de la sûreté.

Quant aux codes informatiques, il en existe une grande variété qui servent à l'évaluation quantitative des enchaînements de défaillances et d'événements, aident à identifier les défaillances de cause commune et à analyser la propagation des incertitudes. D'autres codes ont été ou sont mis au point pour l'étude des phénomènes de dégradation du cœur, du confinement, et des con-

séquences hors site. L'attention s'est également portée sur les sujets qui ne figurent pas dans WASH-1400, notamment l'analyse des risques d'incendie et le traitement des événements extérieurs qui occasionnent des accidents. Dans ce dernier domaine plusieurs études ont montré que le risque est surtout dû aux séismes.

Les publications sur l'analyse probabiliste de la sûreté se sont multipliées depuis quelques années. Outre les rapports détaillés sur les méthodes et les résultats obtenus, ceux des organes de réglementation et des laboratoires nationaux ont porté sur des points plus précis.

Divers guides donnent la marche à suivre pour faire une analyse probabiliste de la sûreté. Un guide a été publié aux Etats-Unis en janvier 1983 dans le cadre du programme intérimaire d'évaluation de la fiabilité. Parallèlement la Commission de réglementation nucléaire américaine, l'Electric Power Research Institute (EPRI), l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) et l'American Nuclear Society (ANS) ont réalisé une œuvre plus vaste en publiant le *PRA Procedures Guide*, qui est un recueil des méthodes reconnues d'exécution d'une analyse de sécurité. Il établit des niveaux des études qui sont aujourd'hui largement adoptés: le *niveau n° 1* comprend les analyses de systèmes menant à l'évaluation de la fréquence des fusions du cœur; le *niveau n° 2* comprend les analyses de confinement qui intéressent le problème des rejets, et le *niveau n° 3* donne une évaluation complète des risques courus par le public fondée sur les conséquences extérieures à la centrale (hors site).

Perspectives et potentiel

Les emplois actuels de l'analyse probabiliste de la sûreté ont révélé l'immense potentiel de ces techniques, notamment pour l'étude des situations où une approche purement déterministe ne suffit pas. A mesure qu'on en saura davantage, les compagnies d'électricité et les autorités réglementaires attacheront de plus en plus d'importance aux techniques en question.

Nous citons ci-après quelques domaines particuliers de l'emploi de l'analyse probabiliste de la sûreté: déter-

mination des systèmes et des composants qui jouent un rôle important pour la sûreté; évaluation des spécifications techniques, y compris les conditions limites de fonctionnement; adaptation, y compris l'analyse coût-avantage; formation du personnel d'exploitation et de réglementation; évaluation de la conception, y compris les défaillances de cause commune et les erreurs humaines; identification, évaluation et classification des questions de sûreté; planification des mesures d'urgence; répartition des activités d'inspection; gestion des accidents; simulation d'accidents; directives pour les essais, l'entretien et la réparation; conformité aux valeurs visées; gestion du risque.

De plus, des organismes gouvernementaux et industriels entreprennent de nos jours divers programmes de recherche afin de résoudre les problèmes que pose l'emploi de l'analyse probabiliste de la sûreté. Citons à ce sujet l'identification et le traitement des incertitudes; l'importance considérable du jugement dans presque tous les aspects de l'évaluation de la fiabilité humaine; le désaccord sur la fréquence des défaillances de cause commune et les modes d'analyse admis; les méthodes nécessaires à l'analyse des interactions entre systèmes; les grandes incertitudes que comporte le calcul des risques dus à des facteurs extérieurs; la caractérisation des incertitudes dues au terme source.

L'élaboration de critères généraux d'homologation, et notamment l'emploi controversé des objectifs de sûreté, est très influencée par des éléments politiques et psychologiques ayant trait au niveau général du risque acceptable. Heureusement, la plupart des applications de l'analyse probabiliste ne dépendent pas de l'issue des débats de ce genre et c'est pourquoi la sûreté des réacteurs peut continuer à en bénéficier.

Pour résumer, il faut bien préciser que l'analyse probabiliste de la sûreté n'est pas un moyen de présenter une information existante dans un cadre probabiliste. C'est plutôt un instrument de recherche technique reconnu et rationnellement mis au service de la sûreté des réacteurs qui permet d'acquérir des connaissances approfondies sur les problèmes de sûreté qu'on ne saurait obtenir par d'autres moyens.

Activités de l'Agence dans le domaine de l'évaluation probabiliste de la sûreté

Les programmes de l'AIEA dans ce domaine portent sur trois aspects distincts:

- La tendance à passer de l'estimation des risques généraux à la détermination des séquences d'accident les plus fréquentes puis aux analyses de fiabilité des systèmes qui présentent une importance pour la sûreté.
- Lancement de programmes d'analyse probabiliste de la sûreté dans de nombreux pays.
- Influence de l'EPS sur le processus de décision.

C'est dans ce contexte qu'a récemment été entrepris un programme interrégional visant à coordonner les activités de formation en cours et à créer au sein des organismes réglementaires des Etats Membres en développement des équipes capables d'exécuter des évaluations probabilistes de la sûreté.

Au nombre des autres activités il faut citer:

- *L'établissement de rapports techniques* dans les domaines suivants: évaluation probabiliste et expérience d'exploitation; situation actuelle et perspectives d'avenir en ce qui concerne la fixation d'objectifs de sûreté quantifiés; identification des séquences de défaillances

sensibles à l'erreur humaine; évaluation probabiliste des systèmes de sauvegarde.

Un document sur l'emploi de l'évaluation probabiliste et son application à la gestion de la sûreté est en préparation; il devrait combler une importante lacune dans ce domaine. Plus précisément, il facilitera la normalisation des méthodes, des applications et de l'interprétation des résultats de l'évaluation probabiliste.

- *Des projets de recherche.* Un programme de recherche coordonnée destiné à établir des critères de risque dans le cycle du combustible nucléaire a été entrepris en 1982 avec la participation de 17 pays.

- *Formation et appui.* L'AIEA organise un cours de brève durée à l'intention des exploitants qui envisagent de créer un groupe d'évaluation probabiliste dans le cadre de leurs activités. Un cours de sept semaines a déjà lieu chaque année en vue de faciliter l'exécution d'évaluations probabilistes et la bonne utilisation de leurs résultats. On établit également à Vienne, à l'intention des Etats Membres, des codes informatiques destinés à l'évaluation probabiliste.