

Sûreté nucléaire

Avis techniques du CSIN

N° 1 :

*Étude probabiliste de sûreté-incendie
des centrales nucléaires*

N° 2 :

*Étude probabiliste de sûreté-séisme
des installations nucléaires*

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

En vertu de l'article 1^{er} de la Convention signée le 14 décembre 1960, à Paris, et entrée en vigueur le 30 septembre 1961, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a pour objectif de promouvoir des politiques visant :

- à réaliser la plus forte expansion de l'économie et de l'emploi et une progression du niveau de vie dans les pays Membres, tout en maintenant la stabilité financière, et à contribuer ainsi au développement de l'économie mondiale ;
- à contribuer à une saine expansion économique dans les pays Membres, ainsi que les pays non membres, en voie de développement économique ;
- à contribuer à l'expansion du commerce mondial sur une base multilatérale et non discriminatoire conformément aux obligations internationales.

Les pays Membres originaires de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la France, la Grèce, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Luxembourg, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. Les pays suivants sont ultérieurement devenus Membres par adhésion aux dates indiquées ci-après : le Japon (28 avril 1964), la Finlande (28 janvier 1969), l'Australie (7 juin 1971), la Nouvelle-Zélande (29 mai 1973), le Mexique (18 mai 1994), la République tchèque (21 décembre 1995), la Hongrie (7 mai 1996), la Pologne (22 novembre 1996), la Corée (12 décembre 1996) et la République slovaque (14 décembre 2000). La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE (article 13 de la Convention de l'OCDE).

L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE

L'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (AEN) a été créée le 1^{er} février 1958 sous le nom d'Agence européenne pour l'énergie nucléaire de l'OECE. Elle a pris sa dénomination actuelle le 20 avril 1972, lorsque le Japon est devenu son premier pays Membre de plein exercice non européen. L'Agence compte actuellement 28 pays Membres de l'OCDE : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, le Danemark, l'Espagne, les États-Unis, la Finlande, la France, la Grèce, la Hongrie, l'Irlande, l'Islande, l'Italie, le Japon, le Luxembourg, le Mexique, la Norvège, les Pays-Bas, le Portugal, la République de Corée, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe également à ses travaux.

La mission de l'AEN est :

- d'aider ses pays Membres à maintenir et à approfondir, par l'intermédiaire de la coopération internationale, les bases scientifiques, technologiques et juridiques indispensables à une utilisation sûre, respectueuse de l'environnement et économique de l'énergie nucléaire à des fins pacifiques ; et
- de fournir des évaluations faisant autorité et de dégager des convergences de vues sur des questions importantes qui serviront aux gouvernements à définir leur politique nucléaire, et contribueront aux analyses plus générales des politiques réalisées par l'OCDE concernant des aspects tels que l'énergie et le développement durable.

Les domaines de compétence de l'AEN comprennent la sûreté nucléaire et le régime des autorisations, la gestion des déchets radioactifs, la radioprotection, les sciences nucléaires, les aspects économiques et technologiques du cycle du combustible, le droit et la responsabilité nucléaires et l'information du public. La Banque de données de l'AEN procure aux pays participants des services scientifiques concernant les données nucléaires et les programmes de calcul.

Pour ces activités, ainsi que pour d'autres travaux connexes, l'AEN collabore étroitement avec l'Agence internationale de l'énergie atomique à Vienne, avec laquelle un Accord de coopération est en vigueur, ainsi qu'avec d'autres organisations internationales opérant dans le domaine de l'énergie nucléaire.

© OCDE 2002

Les permissions de reproduction partielle à usage non commercial ou destinée à une formation doivent être adressées au Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, France. Tél. (33-1) 44 07 47 70. Fax (33-1) 46 34 67 19, pour tous les pays à l'exception des États-Unis. Aux États-Unis, l'autorisation doit être obtenue du Copyright Clearance Center, Service Client, (508)750-8400, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA, ou CCC Online : <http://www.copyright.com/>. Toute autre demande d'autorisation ou de traduction totale ou partielle de cette publication doit être adressée aux Éditions de l'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 Paris Cedex 16, France.

COMITÉ SUR LA SÛRETÉ DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES

Le Comité de l'AEN sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) est un comité international composé de scientifiques et d'ingénieurs de haut niveau. Il a été créé en 1973 afin de mettre en place et de coordonner les travaux de l'Agence pour l'énergie nucléaire sur les aspects techniques de la conception, de la construction et de l'exploitation des installations nucléaires qui ont des répercussions sur la sûreté de ces installations. Ce Comité a pour objectif d'encourager la coopération en sûreté nucléaire entre les pays Membres de l'OCDE.

Le CSIN est un lieu d'échange d'informations techniques propice à la collaboration entre organisations où chacune d'entre elles peut, en fonction de ses qualifications respectives dans le domaine de la recherche, du développement, de la technique ou de la réglementation, apporter sa contribution aux activités ainsi qu'à la définition du programme de travail. Le Comité dresse également des bilans des connaissances sur des aspects de la technologie de la sûreté nucléaire et de l'évaluation de la sûreté, y compris le retour d'expérience. Il lance et conduit des programmes établis en fonction de ces bilans et évaluations de façon à éliminer les incohérences, concevoir des améliorations et parvenir à un consensus international sur des questions techniques d'intérêt commun. Il favorise la coordination des travaux dans les différents pays Membres en lançant notamment des projets de recherche en coopération et contribue à la communication des résultats aux organisations participantes. Le Comité utilise pleinement tous les modes classiques de coopération tels que les échanges d'informations, la création de groupes de travail et l'organisation de conférences et de réunions de spécialistes.

Le programme de travail actuel du CSIN porte pour l'essentiel sur la technologie des réacteurs à eau. Dans ce domaine, le Comité s'intéresse essentiellement au retour d'expérience et aux facteurs humains, au comportement du circuit primaire, aux divers aspects de l'intégrité des réacteurs, à la phénoménologie des rejets de substances radioactives lors d'accidents et à leur confinement, au comportement de l'enceinte, à l'évaluation des risques et aux accidents graves. Il étudie également la sûreté du cycle du combustible, revoit périodiquement les programmes de recherche en sûreté des réacteurs et gère un mécanisme international d'échange de rapports d'incidents ayant une importance pour la sûreté dans les centrales nucléaires.

Pour les besoins de son programme, le CSIN établit des mécanismes de coopération avec le Comité de l'AEN sur les activités réglementaires (CANR) qui est responsable des activités de l'Agence dans les domaines de la réglementation, des autorisations et de l'inspection de la sûreté des installations nucléaires. Il coopère également avec le Comité de protection radiologique et de santé publique et avec le Comité de la gestion des déchets radioactifs de l'AEN sur des sujets d'intérêt commun.

* * * * *

Les idées exprimées et les arguments avancés dans le présent rapport n'engagent que leurs auteurs et ne représentent pas nécessairement ceux de l'OCDE.

Pour tout exemplaire supplémentaire, s'adresser à :

Division de la sûreté nucléaire
Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire
Le Seine St-Germain
12 boulevard des Iles
92130 Issy-les-Moulineaux, France

AVANT-PROPOS

La mission du Groupe de travail sur l'évaluation des risques (WGRisk) de l'AEN consiste à faire mieux connaître les études probabilistes de sûreté (EPS) et à en développer les utilisations comme moyens de préserver la sûreté des installations nucléaires dans les pays Membres. Le Groupe de travail s'intéresse aux différentes méthodologies permettant d'identifier les facteurs de risque et d'en évaluer l'importance. Tout en privilégiant les méthodologies les plus évoluées utilisées pour les EPS de niveau 1, de niveau 2, les EPS des agressions externes et internes et des états d'arrêt, il étudie l'état d'avancement et l'applicabilité des méthodes d'EPS à des problèmes évolutifs tels que la fiabilité humaine, celle des logiciels et les questions de vieillissement.

À la fin des années 1980 et au début des années 1990, le GTP5 (rebaptisé WGRisk en 2000) a publié plusieurs déclarations importantes sur l'évaluation des risques. Le document intitulé « The Role of Quantitative PSA Results in NPP Safety Decision Making » représentait un large consensus international sur ce sujet et est encore aujourd'hui considéré comme essentiel. Quelque difficile que soit la recherche du consensus sur ces avis techniques, le produit ainsi obtenu représente l'un des volets les plus importants du programme de travail du WGRisk.

Les avis techniques présentés ici sont le fruit du travail de deux groupes de spécialistes appartenant à chacune de ces disciplines. Pour approfondir la réflexion sur laquelle se fondent ces avis, ces deux groupes ont établi des rapports et organisé des ateliers. En outre, l'avis sur les EPS-séisme a bénéficié de l'assistance et de la contribution du Groupe de travail sur l'intégrité des composants et des structures (IAGE). Les produits finals ont été examinés et approuvés par les membres du WGRisk et du Comité de l'AEN sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN).

Le Secrétariat de l'AEN souhaite saluer la contribution particulière de plusieurs d'entre eux : M. Reino Virolainen et M. Charles Shepherd, responsables respectivement des avis sur l'EPS-incendie et sur l'EPS-séisme, pour avoir clairement défini les objectifs et assuré la coordination générale de

ces tâches, ainsi que M. Nathan Siu, dans le cas des EPS-incendie, et M. Robert Budnitz, dans celui des EPS-séisme, qui en tant que spécialistes de ces disciplines, ont fourni une bonne partie des matériaux de base nécessaires à l'analyse technique approfondie figurant dans ces avis, et ont consacré de longues heures à leur correction et mise au point finale.

Le Secrétariat de l'AEN adresse également ses remerciements aux experts qui ont bien voulu consacrer un peu de leur précieux temps et leur savoir inestimable à la rédaction de ces documents :

Avis technique sur l'EPS-incendie

Mme Jeanne-Marie Lanore et M. Rémy Bertrand, IRSN, France ; M. Reino Virolainen, STUK, Finlande ; M. Magiel F. Versteeg, VROM, Pays-Bas ; M. Charles Shepherd, NII, Royaume-Uni ; et M. Pieter De Gelder, AVN, Belgique.

Avis technique sur l'EPS-séisme

M. Pierre Sollogoub, CEA, France ; M. Alex Miller, NII, Royaume-Uni ; M. Masyasandra Ravindra, EQE, États-Unis ; M. Nilesh Chokshi, NRC, États-Unis ; M. Joseph Murphy, NRC, États-Unis ; et les membres du Groupe de travail sur l'intégrité des composants et des structures (IAGE).

TABLE DES MATIÈRES

Avis technique n° 1 :

Étude probabiliste de sûreté-incendie des centrales nucléaires

Introduction.....	11
Contexte et méthodologie générale.....	11
Applications des EPS-incendie	13
Méthodologie et incertitudes de l'EPS-incendie.....	17
Conclusions.....	19
Ouvrages recommandés	20

Avis technique n° 2 :

Étude probabiliste de sûreté-séisme des installations nucléaires

Introduction.....	23
Méthodologie	24
Recherche et développement	25
Conclusions.....	26
Références.....	27

AVIS TECHNIQUE N°1

Étude probabiliste de sûreté-incendie des centrales nucléaires

AVIS TECHNIQUE SUR L'ÉTUDE PROBABILISTE DE SÛRETÉ-INCENDIE DES CENTRALES NUCLÉAIRES

Introduction

Cet avis technique est le fruit d'un consensus entre analystes et spécialistes des risques des pays Membres de l'AEN concernant l'état actuel des études probabilistes de sûreté-incendie (EPS-incendie) destinées à la conception et à l'exploitation des centrales nucléaires. Il s'agit par là de présenter aux décideurs dans le domaine nucléaire un document technique clair sur l'état actuel des EPS-incendie. Cette avis s'adresse essentiellement aux autorités de sûreté, aux chercheurs et aux grandes entreprises du secteur. Les autorités publiques, les exploitants de centrales nucléaires et le public en général peuvent également être intéressés.

Contexte et méthodologie générale

En fonction de la conception et des caractéristiques d'exploitation d'une centrale nucléaire, l'incendie peut contribuer de manière significative, voire prédominante, au risque global dans cette installation. D'un point de vue analytique, un grand nombre d'études probabilistes de sûreté (EPS) incendie donnent des estimations de la probabilité moyenne d'endommagement du cœur imputable à un incendie de 10^{-4} /an, voire plus, et des prévisions de la contribution de l'incendie à la probabilité totale d'endommagement du cœur (c'est-à-dire la probabilité imputable à tous les facteurs) de 20 % ou plus. D'après l'expérience, beaucoup d'incendies ont eu une incidence sur la sûreté. Quelques-uns étaient même des précurseurs d'un endommagement grave du cœur. Les principaux incendies à signaler sont ceux de Browns Ferry (États-Unis, 1975), de Medzamor (Arménie, 1982), de Vandellos (Espagne, 1989) et de Narora (Inde, 1993).

Tous les grands incendies survenus dans les centrales nucléaires ne constituent pas une menace pour la sécurité du public, de même que tous les incendies importants pour la sûreté ne sont pas nécessairement de grande ampleur. Des détails tels que l'itinéraire des câbles électriques vitaux, la

séparation et l'orientation des supports de câbles, le dispositif de protection contre l'incendie d'un secteur particulier, et les consignes employées par les opérateurs en cas d'incendie peuvent modifier considérablement l'importance en termes de risque d'incendies réels ou hypothétiques. L'EPS-incendie est un outil quantitatif qui permet d'intégrer ces détails et de mettre en évidence leurs relations avec le risque.

Dans l'ensemble, la démarche employée aujourd'hui pour réaliser une EPS-incendie a peu varié depuis les premières EPS-incendie de centrales nucléaires (au début des années 1980). Elle consiste à identifier des scénarios potentiellement importants à travers l'analyse des risques d'incendie (sources d'allumage et combustibles) dans chaque secteur de feu de la centrale et l'étude des matériels (y compris les câbles électriques) susceptibles d'être endommagés par un incendie. On s'intéresse en particulier aux scénarios initiés par un incendie qui comportent le déclenchement d'un transitoire (un événement initiateur) ou provoquent des réponses inadéquates des systèmes et des opérateurs. Pour quantifier la fréquence de chaque scénario, on estime la fréquence du départ de feu, la probabilité conditionnelle de détérioration de matériel critique par l'incendie en fonction de la nature de l'incendie et la probabilité conditionnelle d'endommagement du cœur en fonction de l'endommagement du matériel en question. (Il est possible de poursuivre au-delà de l'endommagement du cœur et d'étudier, par exemple, la ruine de l'enceinte et les rejets de substances radioactives, mais un petit nombre d'études seulement l'ont fait). Le plus souvent, la fréquence d'un départ de feu est estimée à l'aide d'un modèle statistique simple. On utilise ensuite, pour calculer la probabilité de dommages dus à l'incendie, une combinaison de modèles déterministes et probabilistes des phénomènes physiques de propagation, de détection et d'extinction du feu, mais aussi de détérioration de l'équipement. La probabilité d'endommagement du cœur est estimée à l'aide des EPS classiques de systèmes et de modélisations des séquences d'accidents. Étant donné la multitude de scénarios à considérer, on procède par itérations et en utilisant largement les techniques de filtrage pour concentrer les moyens analytiques sur les scénarios les plus importants. On trouvera dans les références citées à la fin de ce document des descriptions plus détaillées, d'une part, de l'ensemble de la démarche d'EPS-incendie et, d'autre part, de problèmes d'application spécifiques.

L'ensemble du processus d'évaluation fournit un cadre rationnel pour l'étude explicite de la phénoménologie complexe d'un incendie. Il exploite des sources d'information très diverses (calculs de modèles et données d'incident, par exemple) et d'introduire la dimension du risque dans des discussions sur des questions très controversées ou lourdes d'incertitudes. En outre, comme il existe des correspondances directes entre les éléments d'analyse de l'EPS-incendie et

la définition traditionnelle de la protection contre l'incendie selon le concept de défense en profondeur (dont les éléments sont la prévention, la détection, l'extinction de l'incendie ainsi que la limitation de ces conséquences), l'EPS-incendie peut être un bon outil de communication lorsqu'il s'agit d'évaluer l'importance relative d'incendies survenant dans différentes zones de la centrale. L'analyse déterministe utilisée pour établir les bases de conception d'origine ne fournit pas ce type d'information.

Applications des EPS-incendie

Avec le temps, l'EPS-incendie s'est révélée très utile pour les concepteurs et les exploitants de centrales nucléaires ainsi que pour les autorités de sûreté. Beaucoup d'EPS-incendie ont été réalisées dans le cadre d'EPS plus générales. La première, qui remonte à 1975, venait compléter le WASH-1400 (l'étude de sûreté de l'U.S. Nuclear Regulatory Commission). Cette étude limitée devait fournir une estimation rapide des implications en termes de risques de l'incendie de Browns Ferry. L'analyse a montré que la probabilité d'endommagement du cœur associée à ce type d'incendie se situait autour de 10^{-5} /an, soit environ 20 % de la probabilité d'endommagement imputable à toutes les causes analysées dans le corps de l'étude. Il y était également préconisé de mettre au point une méthode d'EPS-incendie plus détaillée (utilisant des modèles et données de meilleure qualité). Parmi les premières études, on peut citer également celle effectuée en 1979 dans le cadre de l'EPS d'une nouvelle filière de réacteur à haute température refroidi par gaz. Cette analyse était centrée sur la contribution au risque des feux dans les salles de triage des câbles. La probabilité d'échauffement du cœur due à ces incendies était en conclusion estimée à environ 10^{-5} /an, soit à peu près 25 % de la probabilité totale d'échauffement du cœur imputable à l'ensemble des causes.

La première EPS-incendie détaillée et complète concernant des centrales commerciales a été réalisée en 1981 et 1982 à l'occasion des EPS des centrales de Zion et d'Indian Point, respectivement. Dans ces deux EPS, on a cherché à savoir s'il était nécessaire de renforcer les systèmes prévus pour limiter les conséquences d'accidents (par exemple, en installant des systèmes d'éventage-filtration). Les résultats des études donnent une contribution au risque assez faible de l'incendie dans les tranches 1 et 2 de Zion (probabilité moyenne d'endommagement du cœur de 5×10^{-6} /an environ pour chaque tranche, soit à peu près 10 % de la moyenne totale), et assez forte dans les tranches d'Indian Point. (Par exemple, la probabilité moyenne d'endommagement du cœur de la tranche 2 avoisinait 2×10^{-4} /an, soit environ 40 % de la moyenne totale). Comme elles avaient été réalisées par la même équipe d'analystes avec les mêmes méthodes et outils, les EPS-incendie de Zion et d'Indian Point ont démontré à quel point les particularités de la centrale

pouvaient influencer sur le risque lié à l'incendie. Plus important, ces études ont permis d'identifier des modifications à apporter à la conception de la centrale pour atténuer le risque (par exemple, coupe-feux, pompe de charge bunkerisée, installation d'une source d'alimentation électrique de rechange pour les cas où l'incendie provoquerait des dommages), qui étaient de loin beaucoup plus rentables que les systèmes à l'origine des études.

Plus récemment, des EPS-incendie ont été effectuées pour de nombreuses filières de réacteurs. L'augmentation de capacité des plates-formes matérielles utilisées pour les EPS a permis de modéliser de façon plus détaillée tous les aspects étudiés dans l'EPS-incendie, dont la propagation et la maîtrise de l'incendie ainsi que ses répercussions sur les systèmes. L'application la plus courante des EPS-incendie (ou des outils d'analyse associés fondés sur les EPS-incendie, par exemple la méthodologie FIVE de l'US Electric Power Research Institute) consiste à rechercher les points faibles d'une installation particulière avec les remèdes possibles, ce qu'ont fait plusieurs pays Membres pour des centrales en service, souvent en complément d'analyses de sûreté déterministes. Bon nombre de ces études ont démontré la contribution importante, voire majeure, de l'incendie au risque et ont permis d'identifier des améliorations de la conception ou de l'exploitation permettant de l'atténuer. Ces améliorations ont pour la plupart été introduites dans les centrales. Parmi les applications récentes ou actuelles EPS-incendie, on peut citer : l'élaboration de procédures fondées sur le risque pour les centrales en exploitation ; la formation du personnel des centrales ; la mise au point de filières de réacteurs avancées ; l'identification et la hiérarchisation des problèmes génériques (c'est-à-dire non spécifiques à l'installation) de protection contre l'incendie (par exemple, les effets de la fumée sur l'efficacité de la lutte manuelle contre l'incendie) ; la réalisation des inspections (dans la mesure où les EPS permettent de déterminer les zones sur lesquelles se concentrer) ; l'analyse de l'efficacité de la réglementation (par exemple, l'évaluation de l'importance en termes de risque des exemptions à des règles spécifiques de protection contre l'incendie) et la définition des priorités de recherche et de développement. Les tranches 1 et 2 de la centrale de Loviisa sont un bon exemple de politique déterminée de réduction du risque d'incendie : l'évaluation « vivante » du risque d'incendie y est systématiquement employée en association avec des mesures de la baisse du risque, pour améliorer la sûreté de la centrale. L'installation d'un sprinkler supplémentaire et la protection physique de plusieurs câbles importants pour la sûreté, des arrivées d'air comprimé et des systèmes hydrauliques de lubrification des vannes de contournement turbine, entre autres, ont permis d'atténuer de manière significative la contribution des incendies au risque depuis le début des années 1990.

En général, la réalisation d'une EPS-incendie permettra de mieux comprendre le risque associé à l'incendie que l'analyse déterministe ne l'autorise, comme le montre de manière synthétique le tableau ci-dessous :

Comparaison de l'analyse des incendies par les méthodes déterministe et probabiliste		
Aspect étudié	Méthode déterministe	EPS-incendie
Étendue des dommages subis par le matériel ou les câbles	Suppose en général que tous les matériels situés dans le secteur de feu seront endommagés ou que la propagation de l'incendie sera limitée par des séparations physiques ou des systèmes d'extinction fixes.	Utilise la modélisation de l'incendie pour déterminer l'étendue des dommages provoqués par des sources spécifiques.
Probabilité d'un incendie	Part du principe que l'incendie peut survenir indépendamment des sources présentes.	Calcule des fréquences d'incendie imputables à un composant ou à une activité dans des emplacements particuliers de la centrale, en fonction du retour d'expérience générique et/ou spécifique à la centrale.
Défaillance concomitante de matériels	Part de l'hypothèse que le matériel qui a échappé à l'incendie sera disponible pour arrêter l'installation.	Étudie des défaillances aléatoires de matériels indemnes se produisant en même temps que les dégâts dus à l'incendie.
Fiabilité de l'opérateur	Suppose que l'opérateur prendra les mesures prescrites par les consignes garantissant l'intervention la plus rapide, la disponibilité de l'instrumentation et l'accessibilité.	Envisage la possibilité d'erreur des opérateurs sous l'effet du stress lié à l'incendie, à des alarmes intempestives ou à l'absence d'alarmes, aux procédures de conduite inadaptées à la situation créée par l'incendie et à l'altération des conditions de travail (par exemple, instrumentation en mauvais état, fumée, contraintes de temps et formation).
Alimentation électrique externe et autres systèmes non classés « de sûreté »	Suppose souvent que les composants et services non classés de sûreté (par exemple, l'alimentation électrique externe et le poste d'eau) sont indisponibles.	Seuls sont supposés indisponibles les composants et services touchés par l'incendie ; sinon calcule la probabilité d'une défaillance aléatoire concomitante avec l'incendie.

Comparaison de l'analyse des incendies par les méthodes déterministe et probabiliste		
Aspect étudié	<i>Méthode déterministe</i>	<i>EPS-incendie</i>
Systèmes de protection contre l'incendie	Pose des conditions spécifiques concernant l'installation et l'opérabilité de ces systèmes en présence d'un incendie. Si elles sont respectées, l'analyse suppose que le système fonctionne de manière efficace.	Tient compte de la défaillance aléatoire des systèmes automatiques et manuels de détection et d'extinction des incendies en fonction des types spécifiques de systèmes installés et du comportement des équipes de pompiers lors des entraînements. Calcule également les probabilités de défaillance aléatoire d'éléments des barrières.

À court terme, la tendance à intégrer davantage le risque dans la décision réglementaire devrait se traduire par une plus large utilisation des EPS-incendie. Parmi les applications de ces EPS en cours de développement, on peut citer : l'évaluation des répercussions en termes de risque des résultats des inspections de la protection incendie, la mise en place d'une information sur le risque destinée à faciliter la résolution des problèmes génériques de protection contre l'incendie (par exemple, les défaillances de circuits provoquées par l'incendie) et la mise au point de méthodes et de données d'EPS-incendie de façon à appuyer les modifications proposées lors du réexamen de sûreté de l'installation. S'agissant de cette dernière application, on prévoit en effet une plus forte demande, dans certains pays Membres, en faveur d'un assouplissement des exigences réglementaires lorsqu'il peut être prouvé que cette mesure ne se traduira pas par une accentuation du risque autre que négligeable. On s'interroge encore sur la meilleure façon d'utiliser les EPS-incendie pour assouplir les mesures de protection contre l'incendie.

Il est important de noter que, quels que soient les pays Membres, les résultats des EPS, lorsqu'ils sont employés pour justifier explicitement des décisions, ne sont pas les seuls éléments pris en compte. D'autres sources d'information, y compris d'autres analyses techniques, interviennent. En d'autres termes, la décision n'est pas à proprement parler fondée sur le risque ; le risque est un élément d'appréciation. Dans cette démarche, le décideur peut donc légitimement exploiter les informations données par des modèles d'EPS imparfaits tant que l'application des résultats et données de ces EPS aux problèmes en question permet un progrès par rapport aux décisions qui seraient prises en l'absence de ces informations sur le risque et cela pour ce problème particulier. Il s'agit là d'un élément important à prendre en considération si l'on

envisage d'utiliser des EPS-incendie, car ces dernières doivent encore être améliorées, comme nous le verrons ci-après.

Méthodologie et incertitudes de l'EPS-incendie

Utilisée pour éclairer la décision, l'EPS-incendie a le mérite d'offrir une méthode systématique et intégrée d'évaluation de l'importance des problèmes de protection contre l'incendie. Cependant, en l'absence de données expérimentales ou de modèles validés concernant les principaux aspects de l'incendie (par exemple, la propagation de l'incendie, les effets de l'incendie sur le matériel et les opérateurs), les résultats des EPS-incendie réalisées aujourd'hui comportent d'importantes incertitudes. Une analyse des études récentes montre que, pour certaines situations critiques, à l'origine de divergences quant à la meilleure méthode de modélisation, des variations des hypothèses peuvent engendrer d'importants écarts dans les estimations de la probabilité d'endommagement du cœur due à un incendie et fournir des informations qualitatives différentes sur le risque. Parmi les sujets controversés, on peut citer le traitement de la probabilité d'incendies difficiles à circonscrire (en utilisant les « facteurs de gravité ») et le traitement de l'évacuation de la salle de commande principale en cas d'incendie grave. Il peut être tout aussi important, par conséquent, d'apprécier l'impact de ces problèmes sur la probabilité de d'endommagement du cœur que de connaître le résultat numérique lui-même. Faute de bien mesurer l'importance de ces incertitudes, le décideur risque de ne pas exploiter correctement les résultats d'une EPS-incendie et de prendre des décisions non satisfaisantes.

Les incertitudes qui pèsent sur les résultats des EPS-incendie ne sont pas dues à l'approche analytique globale décrite au début de ce document. Toutes les EPS-incendie des centrales nucléaires conduites actuellement utilisent cette démarche à de légères variantes près. Une bonne part des incertitudes s'explique en fait par une mauvaise connaissance de certains aspects des scénarios d'incendie. Des incertitudes significatives peuvent apparaître lors de l'estimation de la probabilité des scénarios d'incendie importants (par exemple, du calcul de la fréquence d'incendies de grande ampleur déclenchés par un transitoire ou de feux de câbles spontanés), de la modélisation de la propagation et de l'extinction du feu (l'analyse de la propagation des incendies à travers un empilement de supports de câbles, par exemple), de la prévision des pertes de systèmes dues à l'incendie (la quantification de la probabilité de déclenchement intempestif des systèmes, ou l'analyse des effets de la fumée sur le matériel notamment), ainsi que lors de l'analyse du comportement de l'installation et des opérateurs en présence d'un incendie (par exemple, la modélisation des actions d'opérateurs lors d'un grave incendie dans la salle de commande).

D'autres incertitudes sont imputables au fait que toutes les EPS-incendie n'ont pas atteint le même stade de développement. De nombreuses études ne traitent pas des incertitudes que ce soit de manière formelle (quantification et propagation) ou informelle (études de sensibilité). Souvent l'argument avancé est que l'on utilise des modèles pessimistes, sans préciser toutefois à quel point ils le sont. Beaucoup d'autres études se fondent sur des modèles d'évolution des scénarios d'incendie qui sont dépassés. Bien évidemment, ces questions d'application sont sources de problèmes pour tout décideur qui souhaite utiliser les résultats de l'étude.

Il faut donc poursuivre les travaux de recherche et de développement pour éliminer ces faiblesses et lacunes des EPS-incendie actuelles. Plusieurs pays ont engagé d'importants programmes dans ce domaine dont on attend sous peu des améliorations des EPS-incendie. En France, par exemple, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire a réalisé des essais destinés à étudier les effets des feux sur les câbles électriques et conduit des expériences de feu dans des armoires électriques et de propagation d'un feu entre locaux contigus. Il s'agit par là de lever les incertitudes que comportent les études des scénarios d'incendie qui contribuent de manière significative aux résultats des EPS-incendie. Il est admis qu'avec le progrès, les analyses peuvent devenir plus complexes et coûteuses (par exemple, traitement de multiples scénarios de ventilation lors de la modélisation du comportement du feu dans un pièce). De la prise en compte de ce facteur dans les travaux de recherche et de développement sur les EPS-incendie dépendra l'efficacité de la réalisation de ces EPS-incendie améliorées. Avec le développement de la base d'informations, les modèles deviendront plus robustes, et les incertitudes que comporte l'analyse s'atténueront.

Consciente de ce besoin de renforcer la base d'informations, l'OCDE a créé le projet d'échange de données sur les incendies (OCDE-FIRE). Ce projet sera le dépositaire d'une base de données d'incidents sur les incendies. Les activités prévues recouvrent la collecte, la classification et l'échange de données sur les incidents et leurs caractéristiques (par exemple, emplacement, combustible impliqué, gravité, temps de détection et d'extinction, influence sur le fonctionnement de la centrale).

Pour régler les problèmes que pose la mise en œuvre des EPS actuelles, plusieurs mécanismes pourraient se révéler utiles. Les États-Unis ont mis au point, sous l'égide de la National Fire Protection Association (NFPA), une norme qui est le fruit d'un consensus de toute l'industrie et qui consacre l'usage des informations sur le risque pour évaluer les programmes de protection

contre l'incendie des installations. Cette norme décrit les problèmes techniques que doit aborder une EPS-incendie de bonne qualité.

Conclusions

L'EPS-incendie est un outil systématique d'étude des problèmes complexes que pose la sécurité incendie d'une centrale nucléaire. Elle complète avantageusement les analyses déterministes sur lesquelles se fondent la conception et la protection contre l'incendie du réacteur, dans la mesure où elle met en évidence les points forts et les faiblesses de conception et d'exploitation de l'installation vis-à-vis du risque d'incendie. Elle a démontré son utilité dans les décisions intervenant lors de la conception, de l'exploitation et de la réglementation, et son utilisation devrait se développer dans les années qui viennent.

De même que pour l'analyse d'autres événements initiateurs internes à la centrale, les résultats et données de l'EPS-incendie devraient être utilisés dans le cadre de processus de décision intégrant le risque (et non comme seule base technique). Là encore, le champ d'application et l'intérêt de ces applications dépendront de la précision et de la validité des modèles employés dans l'EPS. Les limites de l'EPS risquent d'être plus nombreuses dans le cas des incendies que pour certains autres événements initiateurs. Toutefois, l'intérêt des EPS-incendie devrait augmenter avec les progrès apportés par les travaux de recherche et de développement en cours et les résultats plus cohérents que les améliorations de la mise en œuvre permettront.

Ouvrages recommandés

1. G. Apostolakis, M. Kazarians, et D.C. Bley, "Methodology for Assessing the Risk from Cable Fires," *Nuclear Safety*, 23, 391-407(1982). Cette étude d'avant-garde décrit les principaux aspects de la technique utilisée dans la première EPS-incendie exhaustive et détaillée qui ait été réalisée pour des centrales nucléaires.
2. "Fire Risk Analysis, Fire Simulation, Fire Spreading, and Impact of Smoke and Heat on Instrumentation Electronics," NEA/CSNI/R(99)27, février 2000. Ce rapport présente un tour d'horizon des EPS-incendie actuelles. On y trouve une description générale de la démarche de l'EPS-incendie et des principaux problèmes, une analyse des progrès réalisés pour les résoudre ainsi que de nombreuses références.
3. "Proceedings from International Workshop on Fire Risk Assessment, Helsinki, Finlande, 29 juin-2 juillet 1999," NEA/CSNI/R(99)26, juin 2000. Ce rapport contient des communications consacrées aux sujets d'actualité dans les domaines de l'application des évaluations des risques d'incendie, de la modélisation et des essais d'incendie, et de la recherche sur ce sujet.

AVIS TECHNIQUE N°2

Étude probabiliste de sûreté-séisme des installations nucléaires

AVIS TECHNIQUE SUR L'ÉTUDE PROBABILISTE DE SÛRETÉ-SÉISME DES INSTALLATIONS NUCLÉAIRES

Introduction

Cet avis technique est le fruit d'un consensus entre analystes et spécialistes des risques des pays Membres de l'AEN concernant l'état actuel de l'étude probabiliste de sûreté-séisme. Il s'agit par là de présenter aux décideurs de la communauté nucléaire un document technique clair sur l'état actuel des EPS-séisme. Cet avis s'adresse essentiellement aux autorités de sûreté nucléaire, aux chercheurs et aux grandes entreprises du secteur. Les autorités publiques, les exploitants de centrales nucléaires et le public en général peuvent également être intéressés.

Étant donné les succès remportés par les applications multiples des études probabilistes de sûreté sismique dans le monde ces dernières années, il est clair que cette méthode a aujourd'hui atteint la maturité nécessaire à une utilisation courante, pour analyser le risque d'endommagement du cœur et de rejet de substances radioactives lors d'incidents provoqués par des séismes sur le site de centrales nucléaires mais aussi pour comprendre les facteurs importants du point de vue du risque. Il est également possible d'adapter la méthodologie de l'EPS-séisme afin de l'appliquer à d'autres types d'installations nucléaires.

Comme toutes les autres méthodologies d'EPS, l'étude probabiliste de sûreté-séisme constitue une méthode systématique d'étude et d'évaluation de l'importance en termes de risque d'un éventail de structures, systèmes, composants et actions humaines susceptibles de contribuer à des accidents, en l'occurrence, des accidents d'origine sismique. Par ailleurs, comme toutes les autres méthodologies d'EPS, l'étude probabiliste de sûreté-séisme prend explicitement en compte les incertitudes, permettant ainsi de se faire une idée de la valeur des résultats au vu de ces incertitudes.

Méthodologie

La méthodologie d'étude probabiliste de sûreté-séisme sert à calculer la probabilité d'endommagement du cœur et la probabilité de rejet de substances radioactives lors d'accidents hypothétiques dans des centrales nucléaires. Cette méthode permet aussi d'obtenir des indications quant à l'importance relative de la contribution au risque des structures, systèmes, composants et actions des opérateurs et met donc en évidence les améliorations de la conception et d'exploitation de la centrale qui seraient les plus efficaces pour réduire le risque. Cela peut consister à améliorer les ancrages des équipements ainsi que la résistance aux séismes des structures, systèmes et composants ou encore à modifier les procédures de conduite. Les résultats de l'étude probabiliste de sûreté-séisme ont permis tant aux responsables des centrales qu'aux autorités de sûreté de centrer leurs efforts et moyens sur les points les plus importants et, partant, d'améliorer nettement la sûreté, souvent à peu de frais. Par exemple, il est fréquent que les EPS-séisme révèlent des problèmes d'ancrage d'équipements électriques, de pompes et de grands réservoirs ou des problèmes de battement des relais, problèmes qu'il est possible de régler normalement à un coût raisonnable.

Comme les méthodes d'EPS-séisme ont été mises au point avec des années de retard sur les EPS destinées à analyser les séquences accidentelles résultant de défaillances internes, il y eut une période où elles étaient moins avancées que ces dernières. Cette période est depuis longtemps révolue. Aujourd'hui, les EPS-séisme sont largement utilisées, souvent seules, mais parfois aussi associées aux méthodes déterministes d'analyse de la sûreté sismique qui existent de longue date. Aujourd'hui, on a la preuve que ces analyses sont adaptées à un large éventail de filières de centrales nucléaires, des plus récentes, encore à l'étude, aux anciennes, qui ont parfois été conçues et construites sans tenir compte, ou presque, des séismes. Dans ce dernier cas, l'analyse probabiliste a démontré qu'elle pouvait fournir le support logique nécessaire pour cerner les mesures les plus urgentes et les plus efficaces par rapport à leur coût pour assurer une bonne tenue au séisme de ce type de centrale.

Bien que les méthodes d'étude probabiliste de sûreté-séisme soient à l'évidence suffisamment développées pour ces utilisations, il faut bien reconnaître que, comme les autres EPS, elles donnent des estimations du risque (probabilité d'endommagement du cœur, etc.) qui comportent de fortes incertitudes numériques, rendant parfois difficile l'interprétation des résultats. De fait, les incertitudes globales sur la probabilité d'endommagement du cœur sont souvent supérieures à celles des EPS courantes d'incidents internes à l'installation. L'incertitude numérique tient essentiellement au fait que l'on ne connaît pas très bien la fréquence des séismes de grande ampleur susceptibles

de se produire et de provoquer des dommages sur la plupart des sites, pour la simple raison que ce type d'événement ne s'y est, dans la majorité des cas, jamais produit et que l'interprétation des statistiques géologiques pour obtenir des estimations de la faible probabilité de ces événements divise la communauté des sismologues et devrait la diviser encore longtemps. D'autres aspects de l'étude probabiliste de sûreté-séisme, dont les évaluations réalisées par les ingénieurs, sont sources d'incertitudes qui ne sont ni plus ni moins importantes que celles des autres EPS portant sur des accidents résultant de défaillances internes à la centrale. Sa capacité d'analyser de manière systématique et réaliste les propriétés sismiques des structures et composants, qui est son principal atout, fait de l'étude probabiliste de sûreté-séisme un outil précieux, quelle que soit l'importance des incertitudes sur la probabilité d'endommagement du cœur. En outre, ces incertitudes ne remettent pas en cause la valeur des enseignements qu'elle fournit concernant les faiblesses et les mérites relatifs de la conception et de l'exploitation de l'installation.

Recherche et développement

Les améliorations de la méthode d'EPS-séisme que l'on peut attendre des travaux de recherche et de développement concernent la réduction des incertitudes, qui faciliterait l'utilisation et la vérification des méthodes d'analyse, et l'élargissement du champ de ses applications. En particulier, les spécialistes de l'EPS-séisme travaillent actuellement sur la façon de traiter les corrélations entre défaillances, les méthodes de quantification des erreurs humaines dans l'environnement consécutif à un séisme, l'utilisation des EPS-séisme pour la gestion des accidents et le traitement des effets du vieillissement dans les évaluations du comportement des structures. S'agissant du comportement sismique des matériels, il existe d'évidentes limites à l'utilisation de données génériques, qui est la solution parfois choisie, et l'on a besoin de données expérimentales sur le comportement sismique de certains matériels qui n'ont jamais été testés. Cette observation vaut notamment pour les pays qui n'ont pas accordé assez d'attention à la question de la sûreté sismique lors de la conception et de la construction de certaines centrales nucléaires anciennes.

La réglementation en sûreté constitue un autre domaine où ces analyses devraient trouver d'importantes applications. Il serait possible d'utiliser les enseignements des EPS-séisme pour modifier la structure et le mode d'utilisation de la réglementation sismique actuelle si les méthodes probabilistes étaient utilisées en complément des approches déterministes de la réglementation. Des démarches fondées sur les méthodes et enseignements des EPS-séisme sont développées, certains pays ayant même entrepris de les introduire dans leur réglementation, pour établir les bases de conception sismique correspondant à des sites spécifiques ainsi que les règles de conception sismique des structures et

équipements. Au cours de la décennie qui vient, elles pourraient être très largement adoptées, parce qu'elles présentent l'avantage par rapport aux méthodes déterministes traditionnelles de fournir une analyse réaliste documentée.

Conclusions

L'originalité de l'étude probabiliste de sûreté-séisme tient au fait qu'elle permet d'obtenir, à partir d'analyses du comportement sismique et d'études techniques de systèmes, une représentation synthétique de la façon dont l'ensemble de la centrale peut répondre à des séismes de grande ampleur. Les EPS-séisme qui ont révélé des associations dangereuses pour la sûreté d'une mauvaise tenue sismique et de faiblesses des systèmes et de l'exploitation ont prouvé en maintes occasions que c'était là une propriété importante. Il s'agit, par exemple, d'une séquence accidentelle potentielle qui se produirait si le séisme endommagerait certains équipements, et qui néanmoins ne porterait pas atteinte à la sûreté de l'installation à moins que l'opérateur ne commette par la suite une erreur. La capacité de détecter ces scénarios (effectivement souvent identifiés par les EPS-séisme), avec la possibilité d'évaluer divers moyens de les éliminer, constitue l'un des atouts principaux des EPS-séisme qu'aucune autre méthode d'analyse n'offre.

Pour ce qui est de l'avenir, l'étude probabiliste de sûreté-séisme a, de toute l'évidence, atteint sa pleine maturité. Elle devrait être de plus en plus utilisée dans le monde entier comme partie intégrante d'EPS globales quelles que soient les filières des centrales nucléaires, et cela malgré le fait que, comme toutes les autres EPS, les EPS-séisme donnent des résultats qui sont incertains, voire souvent très incertains, et dont l'application fait par conséquent appel au jugement validé par une expertise. Parallèlement, grâce aux améliorations méthodologiques continues dans le monde et à la poursuite des échanges d'informations entre praticiens (notamment dans des revues et lors de forums internationaux), les EPS-séisme devraient pouvoir contribuer davantage à la sûreté d'exploitation des centrales nucléaires.

Références

1. State-of-the-Art Report on the Current Status of Methodologies for Seismic PSA, NEA/CSNI/R(97)22, mars 1998. Ce rapport est une mise à jour sur l'état des méthodologies de réalisation des EPS-séisme dans les centrales nucléaires, qui intègre les six sous-méthodes que comporte la méthodologie globale.
2. Proceedings of the OECD/NEA Workshop on Seismic Risk, NEA/CSNI/R(99)28, 10-12 août 1999. Cet ouvrage résume les conclusions et la teneur de 24 communications techniques consacrées à la méthodologie et aux données, aux usages et aux enseignements des EPS sur les séismes et aux études des marges sismiques. Il présente également une méthode de conception sismique qui prend en compte le risque.

LES ÉDITIONS DE L'OCDE, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16
IMPRIMÉ EN FRANCE