

Avis techniques du CSIN

No. 7 :

*EPS vivante et son utilisation dans le processus décisionnel
en matière de sûreté nucléaire*

No. 8 :

*Mise au point et utilisation de l'EPS temps réel
dans les centrales nucléaires*

© OCDE 2005
NEA n° 4412

AGENCE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE
ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES

L'OCDE est un forum unique en son genre où les gouvernements de 30 démocraties œuvrent ensemble pour relever les défis économiques, sociaux et environnementaux que pose la mondialisation. L'OCDE est aussi à l'avant-garde des efforts entrepris pour comprendre les évolutions du monde actuel et les préoccupations qu'elles font naître. Elle aide les gouvernements à faire face à des situations nouvelles en examinant des thèmes tels que le gouvernement d'entreprise, l'économie de l'information et les défis posés par le vieillissement de la population. L'Organisation offre aux gouvernements un cadre leur permettant de comparer leurs expériences en matière de politiques, de chercher des réponses à des problèmes communs, d'identifier les bonnes pratiques et de travailler à la coordination des politiques nationales et internationales.

Les pays membres de l'OCDE sont : l'Allemagne, l'Australie, l'Autriche, la Belgique, le Canada, la Corée, 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, la Nouvelle-Zélande, les Pays-Bas, la Pologne, le Portugal, la République slovaque, la République tchèque, le Royaume-Uni, la Suède, la Suisse et la Turquie. La Commission des Communautés européennes participe aux travaux de l'OCDE.

Les Éditions de l'OCDE assurent une large diffusion aux travaux de l'Organisation. Ces derniers comprennent les résultats de l'activité de collecte de statistiques, les travaux de recherche menés sur des questions économiques, sociales et environnementales, ainsi que les conventions, les principes directeurs et les modèles développés par les pays membres.

Cet ouvrage est publié sous la responsabilité du Secrétaire général de l'OCDE. Les opinions et les interprétations exprimées ne reflètent pas nécessairement les vues de l'OCDE ou des gouvernements de ses pays membres.

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 2005

Toute reproduction, copie, transmission ou traduction de cette publication doit faire l'objet d'une autorisation écrite. Les demandes doivent être adressées aux Éditions de l'OCDE rights@oecd.org ou par fax (33-1) 45 24 13 91. Les demandes d'autorisation de photocopie partielle doivent être adressées directement au Centre français d'exploitation du droit de copie, 20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris, France (contact@cfcopies.com).

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

Le Groupe de travail sur l'évaluation des risques (WGRISK) du Comité de l'AEN sur la sûreté des installations nucléaires (CSIN) a pour mission principale de faire progresser la connaissance et l'utilisation des études probabilistes de sûreté (EPS) en vue d'assurer le maintien de la sûreté des installations nucléaires et d'améliorer l'efficacité des pratiques réglementaires dans les pays membres de l'AEN. Le Groupe de travail prend en considération les différentes méthodologies disponibles pour identifier les facteurs de risque et il en détermine l'importance, tout en continuant de s'intéresser de près aux méthodologies plus éprouvées utilisées dans les EPS de niveau 1 et de niveau 2, et celles relatives aux agressions internes et externes, et aux états d'arrêt. Il étudie aussi, le cas échéant, la possibilité d'appliquer et l'état d'avancement des méthodes d'EPS pour des problèmes évolutifs tels que la fiabilité humaine, la fiabilité des logiciels et les questions liées au vieillissement.

Les avis techniques sont considérés comme l'un des produits les plus importants du WGRisk et à ce titre sont rédigés lors de la parution de tout nouveau rapport, de l'achèvement d'un atelier ou de la tenue de débats approfondis. Les avis techniques publiés récemment ont porté sur l'étude de la fiabilité humaine, l'étude probabiliste de sûreté-incendie et l'étude probabiliste de sûreté-séisme.

L'avis technique sur l'EPS vivante est l'aboutissement de plusieurs discussions approfondies tenues par le WGRisk à l'issue de la publication d'un rapport sur l'état d'avancement des connaissances. L'avis technique sur l'EPS temps réel est le fruit d'un effort commun entre le WGRisk et l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Il a été élaboré à partir des résultats d'un atelier international et d'un rapport sur l'état d'avancement des connaissances établi cette année.

Le Secrétariat de l'AEN souhaite remercier particulièrement M. Charles Shepherd, responsable du WGRisk et principal auteur de ces deux avis, qui a bien voulu faire don de son temps et de ses vastes connaissances pour la

rédaction de cette publication. Le Secrétariat souhaite également remercier les membres du WGRisk et les participants aux réunions de consultants de l'AIEA de leur précieux concours, qui a largement contribué au succès de cette entreprise. À cet égard, le Secrétariat tient à souligner la coopération et l'assistance exemplaires fournis par M. Javier Yllera au nom de l'AIEA.

PERSPECTIVE

Un mot du Président du CSIN, Mr. Ashok Thadani :

Dans de nombreuses centrales nucléaires dans le monde, les EPS sont gérées comme des EPS vivantes pour pouvoir les adapter en fonction des modifications apportées à la conception et à l'exploitation de la centrale concernée, des progrès réalisés dans la compréhension des comportements de la centrale en situations accidentelles et des améliorations dans les méthodes, les modèles et les données relatifs aux EPS. Ces EPS vivantes sont régulièrement utilisées comme l'un des éléments d'un processus décisionnel intégré où les prescriptions découlant de l'analyse déterministe, de l'EPS et d'autres exigences (telles que les prescriptions légales et réglementaires) sont pondérées et combinées de façon à fournir une justification rationnelle et vérifiable à toute décision prise visant la sûreté des centrales nucléaires.

Une EPS vivante peut notamment déboucher sur une EPS temps réel permettant aux exploitants et aux autorités de sûreté d'obtenir des données sur les risques destinées à être utilisées dans le processus décisionnel visant à assurer la sûreté d'exploitation des centrales nucléaires. Depuis que les premières EPS temps réel ont été mises en place en 1988, leur nombre a augmenté rapidement de telle sorte qu'à la fin de 2003 plus de 110 étaient opérationnelles et que le cap des 150 devrait être franchi lorsque celles en cours de mise au point seront opérationnelles.

Bien que l'EPS temps réel s'inspire du modèle de l'EPS vivante, il faut être conscient que cette dernière pourrait, pour plusieurs raisons, ne pas être directement utilisable comme EPS temps réel. L'objectif de l'EPS temps réel est de donner une estimation du risque instantané en fonction de la configuration de la centrale et des facteurs environnementaux à un moment donné, alors que l'EPS vivante propose une estimation du risque moyen et, par conséquent, s'appuie sur les fréquences des événements initiateurs et des indisponibilités pour maintenance exprimées sous forme de moyennes, en prenant généralement en compte le temps d'exposition à différents événements initiateurs lorsque la centrale passe par les divers états de fonctionnement modélisés dans l'EPS. Par conséquent, il faut revoir toutes les conditions moyennes ou prises pour

hypothèse dans le modèle pour pouvoir calculer précisément un risque instantané correspondant à chaque configuration.

La réunion de ces deux avis techniques dans un document unique met à la disposition de l'audience visée, à savoir ici les décideurs au sein de la communauté nucléaire, les autorités de sûreté, les exploitants de centrales, etc., un bilan concis de l'état d'avancement des connaissances leur permettant de mieux analyser la situation au moment d'évaluer des propositions ou les progrès accomplis dans les applications.

Enfin, bien que l'EPS soit un outil intégré puissant, il convient de noter que les décisions relatives à la sûreté doivent prendre en compte avec soin l'ensemble des limitations concernant le domaine couvert et les incertitudes (paramètre et modèle) propres au modèle de l'EPS.

TABLE DES MATIÈRES

Avis technique N° 7 :

EPS vivante et son utilisation dans le processus décisionnel en matière de sûreté nucléaire

Introduction.....	13
Contexte	13
Définition d'une EPS vivante	14
Justifications au recours à une EPS vivante.....	15
Mise à jour de l'EPS vivante.....	17
Documentation à l'appui de l'EPS.....	17
Utilisation de l'EPS vivante dans le processus décisionnel	18
L'EPS vivante : problèmes et limites.....	20
Conclusions.....	21
Références.....	212

Avis technique N° 8 :

Mise au point et utilisation de l'EPS temps réel dans les centrales nucléaires

Introduction.....	25
Contexte	25
Justifications au développement d'une EPS temps réel.....	27
Logiciel des EPS temps réel.....	28
Utilisations des EPS temps réel	29
Mise au point du modèle de l'EPS temps réel à partir de l'EPS vivante ...	29
Validation du modèle de l'EPS temps réel	30
Exploitation de l'EPS temps réel	31
Critères de sûreté applicables au fonctionnement.....	32
Durée autorisée d'une configuration.....	33
Coûts et avantages des EPS temps réel.....	33
Questions et limites relatives à l'utilisation des EPS temps réel.....	34
Conclusions.....	35
Références.....	37

Avis technique N° 7

*EPS vivante et son utilisation dans le processus décisionnel
en matière de sûreté nucléaire*

EPS VIVANTE ET SON UTILISATION DANS LE PROCESSUS DÉCISIONNEL EN MATIÈRE DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Introduction

Le présent avis technique reflète l'opinion générale des analystes et des experts en matière de risque dans les pays membres de l'AEN sur l'état actuel d'avancement des connaissances concernant la mise au point et l'utilisation des Études probabilistes de sûreté vivantes (EPS vivante) dans le processus décisionnel en matière de sûreté applicable aux centrales nucléaires. Il s'agit de donner un avis technique clair à une large audience allant des décideurs au sein de la communauté nucléaire au grand public, en passant par les autorités de sûreté, les exploitants de centrales nucléaires, les spécialistes travaillant dans le secteur de la sûreté nucléaire et de l'EPS.

Contexte

Au vu du grand nombre d'applications probantes de par le monde depuis de nombreuses années, il est clair que l'EPS est une technologie suffisamment éprouvée pour pouvoir être utilisée systématiquement, tant par les exploitants de centrales que par les autorités de sûreté, pour prendre des décisions concernant la sûreté des centrales nucléaires. La pratique courante consiste à mettre en œuvre un processus décisionnel intégré dans lequel les exigences légales et réglementaires, les éléments découlant de l'analyse déterministe, les éléments provenant de l'EPS et d'autres informations (par exemple les résultats d'une analyse coûts-bénéfices) sont pondérées et combinées de façon à donner un fondement rationnel et vérifiable à toute décision prise concernant la sûreté des centrales nucléaires.

Toute EPS qui sera mise en œuvre reflétera la conception et l'exploitation de la centrale, la compréhension du comportement de la centrale en situations accidentelles et les données disponibles au moment de la réalisation de l'analyse. Cependant, les bases de l'EPS évolueront au fil du temps en raison des changements physiques dans la conception de la centrale, des modifications dans les modalités de son exploitation, d'une meilleure compréhension des

comportements de la centrale en situations accidentelles et de la disponibilité de données plus spécifiques sur la centrale. Pour s'assurer que l'EPS continue de contribuer utilement au processus décisionnel, il faut qu'elle soit mise à jour pour prendre en compte les changements intervenus dans la centrale et intégrer les améliorations apportées aux méthodes d'EPS, d'où l'idée d'une EPS vivante. S'agissant des centrales nucléaires, la norme qui se dessine consiste à gérer les EPS en place comme des EPS vivantes et à les utiliser pour fournir les informations relatives aux risques requises par le processus décisionnel intégré.

L'EPS vivante a fait l'objet d'une série d'Ateliers organisés par l'AEN [1]. Le présent avis technique illustre la meilleure pratique actuelle en matière d'EPS vivante, telle qu'elle s'est dégagée de ces ateliers et des échanges d'informations qui ont suivi entre les pays membres de l'AEN [2].

Définition d'une EPS vivante

La première condition à remplir est d'avoir mis en œuvre une EPS de bonne qualité dans la centrale concernée. Il est recommandé de réaliser l'EPS dans le respect des recommandations et des normes en vigueur visant les pratiques, les modèles et les méthodes d'EPS. Il peut s'agir de normes nationales, de recommandations établies par des organisations internationales comme l'OCDE et l'AIEA, et de normes fixées par des organisations telles que l'ASME. En outre, la qualité, le domaine couvert et le niveau de détail de l'EPS doivent être adaptés aux applications envisagées, d'où la nécessité d'un processus de revue indépendante et rigoureuse par les pairs.

Cette base peut ensuite être utilisée pour l'EPS vivante que l'AIEA définit comme étant : « une EPS de la centrale qui est mise à jour selon que de besoin pour refléter les caractéristiques de conception et de fonctionnement du moment, et qui est documentée de telle façon que chaque aspect du modèle puisse être directement relié aux données existantes sur la centrale, à la documentation relative à la centrale ou, faute de ces informations, aux hypothèses formulées par les analystes. L'EPS vivante sera utilisée par les concepteurs, les exploitants et les autorités de sûreté à diverses fins en fonction de leurs besoins, tels que la vérification de la conception, l'évaluation des modifications susceptibles d'être apportées à la conception ou au fonctionnement de la centrale, la conception de programmes de formation et l'évaluation des changements par rapport aux conditions d'autorisation de la centrale » [3].

Il convient de retenir de cette définition que l'EPS est :

- mise à jour selon que de besoin pour lui conserver son caractère évolutif ;
- compatible avec la conception et le mode de fonctionnement du moment de la centrale qui peuvent être changés au gré des modifications effectuées ;
- documentée de façon à pouvoir établir un lien entre l'analyse et les données relatives à la centrale et aux hypothèses formulées par les analystes ;
- présentée sous une forme utilisable par les concepteurs, les exploitants et les autorités de sûreté qui serait mise au point « off-line » par des spécialistes de l'EPS ; et
- utilisable pour des objectifs multiples au nombre desquels un éventail d'applications prenant en compte les risques.

Par conséquent, gérer l'EPS comme une EPS vivante permettra de mieux appréhender le niveau de sûreté de la centrale et comment celui-ci est affecté par des modifications de la conception ou du fonctionnement de la centrale, des progrès dans la modélisation de l'EPS et des changements dans les données servant à quantifier l'EPS.

Justifications au recours à une EPS vivante

Pour de multiples raisons, les bases de l'EPS évolueront avec le temps. Pour faire en sorte que l'EPS continue de contribuer utilement au processus décisionnel, il faut la maintenir à jour en prenant en compte les changements intervenus, notamment :

- **Les changements apportés à la conception ou au fonctionnement de la centrale** : Nombre de ces changements s'étalent sur la durée de vie d'une centrale nucléaire. En général, ils conduisent à une baisse du niveau de risque de la centrale – par exemple lorsque des équipements supplémentaires destinés à remplir des fonctions de sûreté sont installés. Cependant, certains d'entre eux peuvent entraîner une augmentation du risque (sous réserve d'être autorisés par l'autorité de sûreté) – par exemple, l'accroissement de la puissance du réacteur.
- **Les changements dans la compréhension des comportements de la centrale en situations accidentelles** : Ils pourraient découler d'une nouvelle analyse des transitoires obligeant à revoir la modélisation du

fonctionnement des systèmes de sûreté dans l'EPS, d'une analyse des accidents graves qui modifie l'interprétation du comportement escompté de l'enclume de confinement à la suite de dommages au cœur, et du retour d'expérience acquis en cours d'exploitation ou pendant la formation sur simulateur.

- **Les données découlant de l'expérience acquise au cours de l'exploitation de la centrale :** Il est de bonne pratique pour les exploitants de centrales qui utilisent une EPS vivante de recueillir les données acquises en cours d'exploitation et de les utiliser pour actualiser les valeurs numériques employées dans l'EPS vivante concernant les fréquences des événements initiateurs, les probabilités de défaillance des composants, etc. L'AEN s'est fortement investie dans la collecte d'informations destinées aux EPS [4].
- **L'élargissement du domaine couvert par l'EPS :** Il arrive souvent qu'au départ l'EPS vise les contributions aux risques imputables à des événements initiateurs internes se produisant en régime de puissance et, qu'au fil du temps, le champ de l'analyse soit élargi de façon à prendre en compte la contribution au risque découlant : des agressions internes telles que l'incendie et l'inondation ; des agressions externes telles que les événements sismiques et les conditions environnementales extrêmes ; d'autres modes de fonctionnement de la centrale tels que les conditions à faible puissance et à l'arrêt ; du comportement de l'enclume de confinement à la suite de dommages au cœur (EPS de niveau 2) ; et des conséquences hors site à la suite d'un relâchement de matières radioactives par la centrale (EPS de niveau 3).
- **Les progrès dans les méthodes d'EPS :** Ces dernières années, les perfectionnements suivants ont été apportés aux méthodes d'EPS : prise en compte de la contribution aux risques liés à des agressions telles que l'incendie et les événements sismiques ; modélisation des défaillances de cause commune et des erreurs humaines ; et incorporation des erreurs humaines de commission dans le champ de l'EPS. On peut également perfectionner l'EPS de façon à permettre sa mise en œuvre au moyen de l'un des codes informatiques modernes applicables à cette technique.

De telles améliorations élargiraient l'éventail des questions relatives à la sûreté des centrales entrant dans le champ de l'EPS vivante.

Mise à jour de l'EPS vivante

L'EPS vivante doit être mise à jour pour tenir compte de l'ensemble des modifications énoncées ci-dessus. La fréquence de ces mises à jour varie selon les centrales. Toutefois, il est de bonne pratique de consigner tous les changements qui se produisent et d'évaluer leurs incidences sur les résultats de l'EPS. Si elles sont significatives, il faut se fixer pour objectif d'actualiser l'EPS aussitôt que possible. Si elles sont négligeables, il faut les ajouter à la liste des changements à inclure dans la mise à jour suivante. Il est recommandé de mettre au point une procédure spécifique pour procéder à une première évaluation préliminaire des changements apportés à la centrale et actualiser l'EPS.

La gestion d'une EPS vivante nécessite une équipe d'analystes possédant une formation et une expérience en matière d'EPS. Une connaissance approfondie de tous les aspects de l'EPS est nécessaire notamment l'analyse fonctionnelle, le traitement des données, les agressions internes et externes, les EPS de niveaux 1, 2 et 3, etc. En outre, une assistance sera requise dans l'analyse des phénomènes thermohydrauliques, l'analyse des accidents graves, l'analyse des incendies et des séismes, l'analyse des structures (pour étudier le comportement de l'enclume de confinement en cas d'accidents graves), etc.

Pour que l'EPS vivante soit acceptée et utilisée dans le processus décisionnel en matière de sûreté, il faut que le personnel de la centrale se l'approprie et que son utilisation devienne un élément à part entière de l'exploitation de la centrale. Il est par conséquent judicieux d'associer le personnel de la centrale au processus de mise à jour.

Documentation à l'appui de l'EPS

L'utilisation de l'EPS dans le processus décisionnel en matière de sûreté suppose que l'on puisse établir un lien entre les résultats, les conclusions et les recommandations, d'une part, et la conception, le fonctionnement et les hypothèses utilisées pour l'analyse, d'autre part. L'EPS doit donc être solidement documentée et structurée de façon à pouvoir relier tous les aspects de l'EPS avec les données de base. S'agissant d'une nouvelle EPS, il importe d'organiser la documentation de façon à faciliter cette opération. Dans le cas d'une EPS existante, il faudra remanier la documentation ou, si cela n'est pas possible, fournir des repères pour guider l'utilisateur dans la documentation existante.

La documentation doit comprendre les détails de la conception et du fonctionnement de la centrale représentée par le modèle d'EPS et les détails de l'analyse sur laquelle reposent les modèles utilisés dans l'EPS. Elle comprendra, notamment, l'analyse des transitoires à partir desquels sont établis les critères de succès des systèmes de sûreté, l'analyse des accidents graves dont découle celle de l'enceinte de confinement dans les EPS de niveau 2 et la modélisation des conséquences hors site dans l'EPS de niveau 3. Le tout doit être étayé par les dossiers de calcul détaillés.

Les données utilisées concernant les fréquences d'événements initiateurs, les probabilités de défaillance des composants, les probabilités de défaillance de cause commune, les probabilités d'erreurs humaines, etc. doivent être justifiées. Un lien doit pouvoir être établi entre les valeurs numériques et les données ou les modèles de base.

Dans la documentation doivent figurer les dossiers de calculs qui apportent des précisions sur les hypothèses formulées, les modèles utilisés, les données et les résultats. L'ensemble de cette documentation doit être archivée. Cette documentation doit présenter un niveau de détail suffisant pour permettre, si nécessaire, à d'autres analystes de comprendre/recréer/modifier/actualiser l'analyse.

Il ressort de l'expérience acquise dans les pays Membres de l'AEN que l'EPS vivante est en évolution permanente. Il est donc prudent de s'assurer que, à tout moment, une version de référence de l'EPS vivante est disponible, accompagnée de la documentation pertinente. En outre, tous les détails de l'EPS vivante doivent être documentés et vérifiés avec le même degré de précision que l'EPS initiale.

Utilisation de l'EPS vivante dans le processus décisionnel

Aujourd'hui, l'EPS vivante est utilisée partout dans le monde dans le processus décisionnel se rapportant à la sûreté des centrales nucléaires. Elle s'inscrit dans un processus décisionnel intégré (dont on dit parfois qu'il prend en compte la notion de risques) dans lequel les contributions des études déterministes et probabilistes sont conjuguées avec les autres éléments requis pour parvenir à une décision. En outre, les EPS vivantes sont prises en compte dans la façon dont les autorités de sûreté s'acquittent de leurs tâches (réglementation prenant en compte la notion de risque).

Cette approche intégrée utilisant la contribution faite par l'EPS vivante peut être utilisée pour étayer des décisions prises dans un certain nombre de domaines touchant à la sûreté de la centrale, notamment :

- les propositions de procéder à des changements dans la conception ou l'exploitation de la centrale ;
- les demandes de procéder à des changements aux spécifications techniques de la centrale, ou d'y déroger, dans des domaines tels que les durées d'indisponibilité autorisées, les intervalles entre les essais et les configurations autorisées des centrales ;
- d'autres démarches prenant en compte la notion de risque, par exemple, inspection en service et application modulée de l'assurance qualité ; et
- l'analyse des événements d'exploitation (analyse des événements précurseurs) au moyen de l'EPS pour mieux comprendre le comportement de la centrale et l'importance du point de vue des risques des défaillances intervenues en service.

Le but visé par l'approche intégrée est de veiller à ce que la totalité des facteurs pertinents soit recensée et prise en compte de façon à parvenir à une décision équilibrée qui assure que les conditions de la défense en profondeur sont respectées, autrement dit que soit en place une succession de barrières au relâchement de matières radioactives par la centrale et que des marges de sûreté suffisantes soient maintenues.

Le rôle de l'EPS vivante est d'apporter au processus décisionnel une indication de l'importance de la question à l'étude du point de vue des risques. L'EPS vivante peut être utilisée de deux manières : premièrement, pour donner une estimation du risque global de la centrale – la fréquence des dommages au cœur (CDF) et parfois la fréquence de relâchements précoces massifs (LERF), et, deuxièmement, pour déterminer l'incidence sur le risque de la modification proposée dans la conception ou le fonctionnement de la centrale.

Ce faisant, il ne faut pas oublier que l'EPS vivante peut présenter des lacunes dont il faut tenir compte. Par exemple, le domaine couvert par l'EPS peut être limité et ne pas intégrer les contributions au risque imputable aux agressions externes ou exclure certains des modes de fonctionnement de la centrale propres à une mise à l'arrêt et à un rechargement. En outre, l'état de l'art actuel en matière d'EPS ne permet pas encore d'y avoir recours pour étudier explicitement certaines questions telles que le vieillissement des composants et la culture de sûreté.

Il ressort de ce qui précède que l'EPS vivante peut être utilisée pour :

- la planification de la sûreté à long terme pour étudier les modifications à la conception ou au fonctionnement de la centrale, y compris la mise en conformité, l'optimisation des essais et de la maintenance préventive, et l'équilibre entre la maintenance préventive et la maintenance corrective ; et
- la planification de la sûreté à court terme dans laquelle l'EPS vivante est utilisée « off-line » pour contribuer à la surveillance de la configuration des systèmes de sûreté, aux dérogations aux spécifications techniques, et à l'analyse des événements d'exploitation au moyen d'une démarche fondée sur l'EPS.

En outre, l'EPS vivante peut servir de base à une application d'EPS temps réel qui peut être utilisée en ligne pour fournir des informations sur les risques relatifs à la configuration dans laquelle se trouve la centrale. Cependant, il faut généralement apporter des modifications à l'EPS vivante pour éliminer les simplifications qui ne conviennent pas pour un modèle d'EPS temps réel et pour améliorer le modèle d'EPS. Le but est d'assurer que l'EPS temps réel fournira des estimations plus représentatives du risque pour l'ensemble des configurations de la centrale et des facteurs environnementaux envisageables. La manière de procéder est bien connue grâce à de nombreuses applications concluantes de l'EPS temps réel dans le monde entier.

L'EPS vivante : problèmes et limites

Une EPS vivante donnée peut présenter des limitations qu'il convient de comprendre avant de pouvoir l'utiliser correctement dans le processus décisionnel en matière de sûreté pendant l'exploitation d'une centrale. Les principales limitations découlent du domaine couvert par l'EPS qui a été réalisée. Ainsi, le champ d'application de l'EPS vivante peut se trouver limité de telle façon que les contributions au risque imputable à l'ensemble des agressions internes et externes susceptibles de se produire ne sont pas prises en compte, que l'analyse est seulement de niveau 1 et ne prend donc pas en compte le comportement de l'enceinte de confinement à la suite de séquences de défaillances causant un endommagement du cœur, ou que l'analyse ne concerne que le fonctionnement à pleine puissance et exclut les modes de fonctionnement de la centrale à faible puissance ou à l'arrêt. Les informations et les indications sur les risques que donnera l'EPS vivante resteront dans les limites de l'EPS qui a été réalisée, aussi faut-il bien avoir ce cadre en tête lors de l'utilisation de l'EPS vivante dans le processus décisionnel en matière de sûreté.

Conclusions

Les conclusions suivantes peuvent être tirées concernant l'état des connaissances dans la mise au point et l'utilisation des EPS vivantes dans le processus décisionnel en matière de sûreté applicable aux centrales nucléaires :

- La majorité des EPS qui ont été réalisées pour les centrales nucléaires dans les pays membres de l'AEN sont gérées comme des EPS vivantes.
- Ces EPS vivantes sont régulièrement actualisées pour prendre en compte les modifications apportées à la conception et au fonctionnement de la centrale, les progrès dans la compréhension des comportements de la centrale en situations accidentelles et les améliorations dans les méthodes, les modèles et les données relatifs aux EPS.
- Ces EPS vivantes sont utilisées régulièrement comme un élément parmi d'autres dans la prise de décision concernant les questions de sûreté qui se posent dans les centrales nucléaires (prise de décisions prenant en compte les risques) et dans le choix de leurs activités par les autorités de sûreté (réglementation prenant en compte les risques).
- Les informations sur les risques fournies par l'EPS vivante peuvent présenter des lacunes pouvant découler de limitations dans le domaine couvert par l'EPS vivante elle-même. Ces lacunes doivent être recensées et prises en compte dans l'exploitation des informations sur les risques fournies par l'EPS vivante.
- L'EPS vivante constitue généralement l'une des contributions à un processus décisionnel où les indications résultant de l'analyse déterministe, de l'EPS et d'autres exigences (les exigences légales et réglementaires, par exemple) sont pondérées et combinées pour parvenir à une décision.

Références

- [1] *State of Living PSA and Further Developments*; NEA/CSNI/R(1999)15; 1999.
- [2] *The Use and Development of Probabilistic Safety Assessment in NEA Member Countries*; NEA/CSNI/R(2002)18; juillet 2002.
- [3] *Living Probabilistic Safety Assessment (LPSA)*; IAEA TECDOC Series No. 1106; septembre 1999.
- [4] *Reliability Data Collection, Workshop Proceedings, Budapest, Hongrie*; NEA/CSNI/R(1998)10; avril 1998.

Avis technique N° 8

*Mise au point et utilisation de l'EPS temps réel
dans les centrales nucléaires*

MISE AU POINT ET L'UTILISATION DES EPS TEMPS RÉEL¹ DANS LES CENTRALES NUCLÉAIRES

Introduction

Le présent avis technique reflète l'avis général des analystes et des experts en matière de risque dans les pays membres de l'AEN sur l'état actuel des connaissances dans l'élaboration et l'utilisation des EPS temps réel dans les centrales nucléaires. Il s'agit de donner un avis technique clair sur l'état des connaissances à une large audience allant des décideurs au sein de la communauté nucléaire au grand public, en passant par les autorités de sûreté, les exploitants de centrales nucléaires, les spécialistes travaillant dans le secteur de la sûreté nucléaire et de l'EPS.

Contexte

L'EPS temps réel est l'une des applications spécifiques de l'étude probabiliste de sûreté vivante (EPS vivante) et elle est utilisée par les exploitants et les autorités de sûreté pour obtenir des informations sur les risques qui seront utilisées dans le processus décisionnel visant à assurer la sûreté de fonctionnement des centrales nucléaires.

Les premières EPS temps réel ont été élaborées au Royaume-Uni et mises en pratique en 1988, sous les noms de *Essential Systems Status Monitor* (ESSM) à Heysham 2 et de *ESOP1/LINKITT* à Torness. Depuis cette date, le nombre d'EPS temps réel s'est rapidement multiplié dans le monde de telle sorte qu'à la fin de 2003 il y en avait plus de 110 en service et que le cap des 150 devrait être franchi lorsque celles en cours de mise au point, notamment au Japon et en Corée, seront opérationnelles. En outre, le nombre de logiciels pour EPS temps réel a augmenté et une douzaine sont actuellement en usage, certains

1. Le terme « EPS temps réel » correspond au terme anglais « Risk Monitor ». Il est à noter que le terme anglais « Risk Monitor » est souvent conservé dans les textes en langue française.

disponibles commercialement et d'autres utilisés dans certains pays ou certaines centrales. On trouvera dans les Références [1] et [2] un bilan des connaissances sur l'EPS temps réel et de son utilisation dans les centrales nucléaires.

L'AIEA définit l'expression EPS temps réel de la façon suivante : « un instrument d'analyse en temps réel d'une centrale donnée utilisé pour déterminer le risque instantané à partir de l'état effectif des systèmes et des composants. À tout moment donné, l'EPS temps réel rend compte de la configuration effective de la centrale, telle qu'elle ressort de l'état connu des divers systèmes/ou composants – par exemple, si certains composants sont hors service pour des opérations de maintenance ou des essais. Le modèle de l'EPS temps réel s'inspire de l'EPS vivante et s'inscrit dans sa logique. Il est actualisé avec la même fréquence que l'EPS vivante. L'EPS temps réel est utilisée par le personnel d'exploitation de la centrale à l'appui de ses décisions » [3].

La tendance actuelle est de fonder l'EPS temps réel sur une EPS exhaustive prenant en compte tous les événements initiateurs internes, toutes les agressions internes et externes, ainsi que la fréquence des dommages au cœur et la fréquence de relâchements précoces massifs, et couvrant tous les modes de fonctionnement de la centrale, à savoir régime de puissance, arrêt et rechargement. Toutefois, un bon nombre d'EPS temps réel actuellement en service reposent sur une EPS d'une portée plus limitée et, quand cela est le cas, il convient de garder à l'esprit les lacunes dans les informations sur les risques qu'elles procurent.

Bien qu'il faille que l'EPS temps réel type soit cohérente avec l'EPS vivante dans la mesure où l'une et l'autre renvoient aux mêmes caractéristiques de conception et d'exploitation de la centrale et sont fondées sur les mêmes critères en ce qui concerne les systèmes de sûreté à mettre en œuvre à la suite d'événements initiateurs, et largement sur les mêmes données, on relève un certain nombre de différences entre les deux. L'EPS temps réel est un instrument d'analyse qui est utilisé en ligne pour fournir des informations sur les risques pendant l'exploitation normale de la centrale tandis que l'EPS vivante est utilisée « off-line ». L'EPS temps réel calcule le risque à un moment donné (encore appelé risque instantané dans la définition de l'AIEA) alors que l'EPS vivante calcule le risque moyen. Le risque instantané est calculé pour chaque configuration de la centrale qui correspond à un état des systèmes et des composants, et qui est définie par les lignages en place, les indisponibilités des composants, les activités en cours dans la centrale qui ont une incidence sur le risque et les facteurs liés aux états de fonctionnement de la centrale. Cette opération est effectuée pour chaque mode de fonctionnement de la centrale – c'est-à-dire qu'elle fonctionne à pleine puissance, à puissance réduite ou qu'elle

se trouve dans l'un des états qui se matérialisent au cours de la mise à l'arrêt et du rechargement.

L'une des conditions est que l'EPS temps réel puisse être utilisée par tout le personnel de la centrale à l'appui des décisions d'exploitation et non pas seulement par les spécialistes de l'EPS qui utilisent l'EPS vivante. L'objectif global est de contrôler la configuration de la centrale de façon à maintenir le risque dans des limites acceptables. Dans le passé, cela se faisait en référence aux règles déterministes figurant dans les spécifications techniques de la centrale. Ces dernières sont formulées pour garantir que les mises à l'arrêt pour maintenance sont gérées de façon à ce que les systèmes de sûreté présentent un niveau adéquat de diversité, de redondance et de défense en profondeur. Le surcroît d'informations sur les risques qu'apporte l'EPS temps réel permet au personnel de planifier la maintenance de façon à réduire les risques au minimum et à respecter les règles déterministes.

Il convient de noter que pour fournir une estimation du risque instantané, l'EPS temps réel requiert davantage d'informations sur l'état de la centrale que n'en sont utilisées dans l'EPS vivante, et nécessite un traitement différent des mises à l'arrêt pour maintenance et des lignages des systèmes. Par conséquent, le plus souvent, le modèle de l'EPS vivante ne peut pas être utilisé directement pour une application d'EPS temps réel, d'où la nécessité d'effectuer des ajustements.

Justifications au développement d'une EPS temps réel

Toute une gamme de raisons a été apportée à l'appui de l'élaboration d'EPS temps réel dans les centrales nucléaires dans les pays membres de l'AEN. La première concerne le respect de la règle de maintenance de la Commission de la réglementation nucléaire des États-Unis (USNRC) qui impose aux exploitants de centrales d'évaluer et de gérer le risque lié aux activités de maintenance, et l'EPS temps réel est le moyen le plus commode d'y parvenir. Le Code de la réglementation fédérale 10 CFR 50.65 (a)(4) stipule notamment que : « avant de réaliser des activités de maintenance (comprenant, mais sans s'y limiter, la surveillance, la réalisation d'essais post-maintenance et la maintenance corrective et préventive), le titulaire d'une autorisation évalue et gère l'augmentation de risque qui pourrait résulter des activités de maintenance proposées. L'évaluation peut ne viser que les structures, systèmes et composants pour lesquels un processus d'évaluation prenant en compte les risques a montré qu'ils étaient importants pour la santé et la sûreté du public ». Cette prescription s'applique à tous les modes de fonctionnement de la centrale.

Parmi les autres raisons avancées on peut citer : la possibilité d'appliquer une démarche prenant en compte les risques dans la gestion de la sûreté d'exploitation des centrales ; la capacité de programmer les activités de maintenance de façon à éviter une accumulation de risques ; une flexibilité accrue dans l'exploitation de la centrale ; la fourniture d'éléments légitimant un recours accru à la maintenance en ligne ; l'obtention de données sur l'importance des risques de certains composants pendant les activités de maintenance ; et la formulation d'avis sur les composants à remettre en service.

Au vu de l'expérience acquise dans l'utilisation des EPS temps réel dans les pays membres de l'AEN, il est clair qu'une approche anticipatrice en ligne de la gestion du risque au moyen d'une EPS temps réel a permis une réduction des risques dans les centrales plus forte que l'option « off-line ». Alors que l'approche en ligne peut éviter la matérialisation d'une accumulation de risques, l'utilisation rétrospective permet seulement d'éviter la reproduction des accumulations qui ont été observées dans le passé en modifiant les modalités d'exécution des activités de maintenance considérées.

Logiciel des EPS temps réel

Le logiciel utilisé pour une EPS temps réel est sensiblement différent de celui utilisé pour une EPS vivante. L'une des principales différences tient au fait que l'EPS temps réel est conçue pour pouvoir être utilisée par tout le personnel de la centrale nucléaire plutôt que par des spécialistes de l'EPS, de telle sorte qu'aucune connaissance particulière ne serait requise dans la modélisation d'arbres de défaillances ou d'arbres d'événements ou dans toute autre technique utilisée dans l'élaboration de l'EPS. Cependant, l'actualisation du modèle et des bases de données de l'EPS suppose l'intervention de spécialistes de l'EPS.

Trois démarches ont été employées par le logiciel d'EPS temps réel à savoir : 1) résoudre le modèle d'EPS pour chacune des configurations de la centrale ; 2) utiliser des solutions précalculées pour un large éventail de configurations de la centrale ; ou 3) utiliser une technique de manipulation de coupes minimales qui commence par une solution EPS obtenue à partir d'un niveau de troncature minimum. La première démarche tend à s'imposer car elle apporte un surcroît de souplesse dans la modélisation des facteurs environnementaux et procure une estimation plus représentative du risque pour l'ensemble des configurations de la centrale. La combinaison d'un logiciel et d'un matériel modernes permet de réaliser très rapidement cette opération.

Utilisations des EPS temps réel

Les EPS temps réel sont essentiellement utilisées comme un instrument en ligne destiné à surveiller et à maîtriser le risque découlant des configurations de la centrale qui surviennent pendant un fonctionnement normal, à calculer et à contrôler la durée autorisée d'une configuration au fur et à mesure des changements de configuration de la centrale et à surveiller le risque cumulatif. On s'en sert également pour planifier la maintenance de façon à ce que les activités de maintenance soient effectuées de manière à éviter des niveaux de risques élevés et à limiter à un niveau acceptable le risque cumulatif sur une période de temps.

Les EPS temps réel sont également utilisées « off-line » pour obtenir des profils de risque concernant la gestion des centrales, étudier pourquoi des pointes se sont produites dans les risques de façon à éviter la répétition du phénomène et réaliser une analyse des événements non programmés tels que ceux provoqués par des défaillances d'un équipement. En outre, on privilégie souvent l'EPS temps réel par rapport à l'EPS vivante car elle est de manipulation beaucoup plus aisée que cette dernière.

Étant donné que l'EPS temps réel donne une indication très claire de la façon dont les activités réalisées dans la centrale influent sur le risque, on y a souvent recours dans les programmes de formation pour renforcer la sensibilisation au risque et promouvoir la culture de sûreté.

La gestion de la sûreté des centrales nucléaires s'oriente désormais vers une approche intégrée qui conjugue les informations relatives au risque fournies par l'EPS temps réel avec l'approche déterministe et d'autres exigences pour s'assurer que l'occurrence et la durée des configurations d'une centrale sont gérées de façon à maintenir les risques, tant instantanés que cumulatifs, à des niveaux égaux ou inférieurs aux niveaux prescrits, tout en encourageant le respect des principes déterministes de gestion de la sûreté.

Mise au point du modèle de l'EPS temps réel à partir de l'EPS vivante

Fondamentalement, l'EPS temps réel type est une EPS vivante qui rend compte de la conception et du fonctionnement de la centrale à un moment donné et dont la qualité, le domaine de couverture et le niveau de détail sont suffisants pour permettre cette application de l'EPS.

Toutefois, on ne peut pas utiliser directement l'EPS vivante dans l'EPS temps réel et des changements doivent être effectués pour éliminer les

simplifications faites dans l'analyse qui ne conviennent pas pour la mise en œuvre d'une EPS temps réel. Par exemple, l'EPS vivante suppose un lignage des systèmes et une configuration des voies en service et des voies en réserve correspondant à des systèmes fonctionnant normalement. Le modèle de l'EPS doit être modifié pour faire en sorte que les configurations probables de la centrale soient modélisées avec précision et que les modes appropriés de défaillance des composants soient pris en compte.

Il pourrait également s'avérer nécessaire d'apporter des perfectionnements à l'EPS vivante. Il s'agit souvent d'améliorer la modélisation des défaillances de cause commune et des probabilités d'erreur humaine de façon à ce qu'elle représente la configuration de la centrale effectivement modélisée. En outre, des changements peuvent être apportés aux fréquences d'événements initiateurs et aux probabilités d'événements de base pour intégrer les facteurs environnementaux – par exemple, modéliser l'accroissement de la fréquence de pertes de sources électriques externes lors de conditions atmosphériques défavorables ou pendant des activités de maintenance du réseau.

Ces changements visent à assurer que l'EPS temps réel donnera des estimations plus représentatives du risque pour l'ensemble des configurations de la centrale et des facteurs environnementaux envisageables. La méthodologie est bien connue grâce à de nombreuses applications concluantes de l'EPS temps réel dans les pays membres de l'OCDE.

Validation du modèle de l'EPS temps réel

Dans la mesure où un grand nombre de modifications doivent souvent être apportées au modèle de l'EPS vivante et aux données qui s'y rapportent avant de pouvoir l'utiliser dans une EPS temps réel, un processus de validation rigoureux s'impose. Il faut vérifier que les résultats quantitatifs donnés par l'EPS temps réel sont cohérents ou équivalents à ceux découlant de l'EPS vivante. Le processus de validation doit couvrir tous les changements effectués au modèle de l'EPS vivante et aux données qui s'y rapportent, et vérifier que les résultats obtenus concernant les lignages non envisagés dans l'EPS vivante sont corrects.

Le processus de validation doit être suffisamment rigoureux pour garantir l'obtention d'un résultat fiable pour toutes les configurations probables de la centrale. On procède généralement en comparant les coupes minimales données par les deux modèles d'EPS, l'un pour l'hypothèse de référence (tous les équipements disponibles) et l'autre pour les cas où des composants particuliers

ont été mis hors service. Plus on doit faire de changements à l'EPS vivante, plus le processus de validation doit être exhaustif.

Exploitation de l'EPS temps réel

L'intervention de l'utilisateur d'une EPS temps réel se limite à modifier la configuration de la centrale – c'est-à-dire à préciser le mode de fonctionnement de la centrale, indiquer les voies des systèmes qui sont en service et ceux qui sont en réserve, déterminer les composants qui ont été mis hors service pour maintenance ou essais, indiquer si les raccordements croisés entre les voies des systèmes de sûreté sont ouverts ou fermés, etc. Il est recommandé d'introduire les informations requises aussitôt qu'on peut le faire sans inconvénient après le démarrage de l'activité de maintenance de façon à ce que l'EPS suive effectivement les changements apportés à la centrale en temps réel.

Les résultats précisément fournis par l'EPS temps réel dépendent du logiciel utilisé et ces résultats comprennent des informations quantitatives sur les risques et des informations qualitatives sur la situation du point de vue de la sûreté.

Les **informations quantitatives sur les risques** sont : le risque instantané (fréquence de dommages causés au coeur/fréquence de relâchements précoces massifs) ; le profil de risque qui montre l'évolution du risque en fonction du temps imputable aux changements intervenus dans la configuration de la centrale ; un calcul de la durée autorisée de la configuration – c'est-à-dire, le temps pendant lequel la centrale peut continuer dans la configuration du moment ; et le risque cumulatif en fonction du temps, qui peut être mis en relation et comparé avec un objectif. En outre, il existe généralement un moyen d'évaluer le risque imputable à des activités de maintenance proposées (démarche what-if? ou inductive) et à des programmes de maintenance futurs. La contribution de l'équipement en service et la réduction quantitative qui résulterait d'une remise en service d'un équipement sont également calculées.

Les **informations qualitatives sur la situation du point de vue de la sûreté** découlent généralement de l'état des systèmes de sûreté et des fonctions de sûreté. On dispose ainsi d'une comparaison de la configuration de la centrale par rapport à des critères déterministes liés au niveau de redondance, de diversité et de défense en profondeur des systèmes de sûreté. Les dispositifs d'affichage colorés indiquent si les systèmes sont pleinement disponibles/légèrement dégradés/dégradés/indisponibles. En pratique, les définitions des critères qualitatifs utilisés sont déterministes, aussi n'y a-t-il, dans de nombreux cas, pas de corrélation directe entre le niveau de risque indiqué par le calcul des

fréquences de dommages causés au coeur/fréquences de relâchements précoces massifs et les informations de caractère qualitatif.

Critères de sûreté applicables au fonctionnement

Lorsque les EPS temps réel sont utilisées en ligne, les critères de sûreté applicables au fonctionnement permettent de faire la distinction entre les fourchettes de risque faible/moyen/élevé ou inacceptable qui requièrent des interventions différentes de la part du personnel de la centrale. En général, quatre fourchettes de risque sont définies et présentées selon le code de couleur suivant :

- **Risque inacceptable** (rouge) qui ne devrait normalement se produire qu'en cas d'identification d'une défaillance de la centrale. Les activités de maintenance programmées ne sont pas autorisées et une intervention immédiate est requise pour réduire le risque. Une mise à l'arrêt du réacteur peut s'imposer si la situation se produit en régime de puissance.
- **Risque élevé** (orange), auquel cas des limites de temps rigoureuses sont imposées aux activités de maintenance en cours et des mesures correctives peuvent s'avérer nécessaires.
- **Risque modéré** (jaune), auquel cas des limites de temps sont imposées aux activités de maintenance en cours.
- **Risque faible** (vert), auquel cas aucune restriction n'est imposée.

Les critères de sûreté applicables au fonctionnement peuvent être définis soit en niveaux de risque absolus, soit en termes d'ordre de grandeur par rapport au risque de référence (ensemble de l'équipement disponible). La méthode la plus souvent utilisée est celle des niveaux de risque en termes absolus. Bien qu'il soit difficile de justifier les valeurs chiffrées retenues, elles constituent une base commune permettant d'assurer que toutes les centrales nucléaires sont exploitées selon la même norme.

S'agissant des centrales où les critères de sûreté applicables au fonctionnement sont définis en niveaux de risque absolus, il existe un large consensus sur la marche à suivre. En cas d'exploitation en régime de puissance, la frontière entre les fourchettes de risque faible et modéré est fixée aux alentours du niveau de risque moyen calculé dans l'EPS vivante. En effet, l'objectif étant d'exploiter la centrale de façon à ce que le risque effectif exprimé en termes de moyenne annuelle soit inférieur au risque moyen calculé dans l'EPS vivante, les exploitants ont besoin de savoir à quel moment ce

niveau de risque est franchi. La limite entre les fourchettes de risques élevé et inacceptable est fixée à 10^{-3} par an concernant la fréquence de dommages causés au coeur et 10^{-4} par an concernant la fréquence de relâchements précoces massifs. La frontière entre les fourchettes de risque modéré et élevé est fixée à un niveau intermédiaire. Cependant, il convient de noter que les critères de sûreté applicables au fonctionnement qui seront utilisés dépendront du domaine couvert par l'EPS mise en œuvre dans l'EPS temps réel et que d'autres critères devront être définis en cas de modes associés à une mise à l'arrêt de la centrale.

Durée autorisée d'une configuration

Lorsque les EPS temps réel sont utilisées en ligne, la durée autorisée d'une configuration est généralement calculée et affichée pour la configuration dans laquelle se trouve la centrale. Il s'agit de vérifier le risque global (intégré) pour chaque configuration de la centrale au-dessus de la fourchette de risque faible de façon à ce que leur contribution à la probabilité d'un endommagement du cœur/relâchement précoce massif soit inférieure à 10^{-6} et 10^{-7} , respectivement.

Les EPS temps réel donnent également des informations sur le moment où la configuration a été mise en place et la durée restante. Cette opération est faite pour chaque nouvelle configuration au moment de sa mise en place. Quand ils contrôlent la durée autorisée d'une configuration, les exploitants de la centrale ne doivent pas perdre de vue les composants qui sont demeurés hors service depuis la configuration précédente de la centrale et ont déjà contribué à la probabilité d'endommagement du cœur/relâchement précoce massif. Il reste à définir le meilleur moyen de gérer cet aspect du calcul et le contrôle de la durée autorisée d'une configuration.

Coûts et avantages des EPS temps réel

Le coût de mise en œuvre d'une EPS temps réel comprend l'achat ou la mise au point du logiciel à utiliser et le coût de la réalisation des modifications et des améliorations à apporter au modèle de l'EPS vivante pour pouvoir l'utiliser dans la mise en œuvre de l'EPS temps réel. Ces coûts sont bien connus grâce à de nombreuses expériences réussies d'EPS temps réel dans les pays membres de l'AEN.

Selon les exploitants qui ont installé une EPS temps réel, c'est avant tout la façon la plus économique de gérer la question des risques liés aux exigences de

sûreté de fonctionnement. L'utilisation d'une EPS temps réel aura notamment pour effet :

- de permettre aux exploitants de centrales nucléaires dans certains pays membres de l'AEN d'effectuer davantage d'opérations de maintenance avec le réacteur en régime de puissance et donc de réduire le nombre et la durée des périodes de mise à l'arrêt ;
- de donner un moyen de surveillance des configurations de la centrale ce qui permettra d'assurer une baisse du risque global de la centrale, d'où un avantage implicite ;
- d'étayer des demandes d'exemption de spécifications techniques trop restrictives et d'allongement des durées autorisées de mise à l'arrêt figurant dans les spécifications techniques ;
- de donner des informations sur les risques sous une forme directement compréhensible et utilisable pour démontrer le niveau de sûreté de la centrale ;
- de faciliter le respect de la règle de maintenance de l'US NRC qui impose aux exploitants de centrales d'évaluer le risque avant de mettre en place une configuration de maintenance programmée, puis immédiatement après la mise en place d'une configuration non programmée pour la totalité des modes de fonctionnement de la centrale ; et
- de fournir une base pour un large éventail d'applications prenant en compte les risques.

Étant donné que les mises à l'arrêt et les activités de maintenance des centrales reviennent cher, les avantages de l'EPS temps réel devraient dépasser largement les coûts supportés.

Questions et limites relatives à l'utilisation des EPS temps réel

Le modèle d'EPS temps réel utilisé aura les mêmes limites que l'EPS vivante dont il découle. Il pourrait s'agir des limites concernant le niveau de l'EPS effectuée, de l'éventail des événements initiateurs/agressions pris en compte et des modes de fonctionnement de la centrale modélisés. L'EPS temps réel ne fournira des informations et des indications fiables sur les risques que dans les limites de l'EPS qui aura été effectuée. La norme qui se dégage est de fonder l'EPS temps réel sur une EPS exhaustive qui intègre la totalité des événements initiateurs et des agressions, prend en compte la fréquence de dommages au cœur et la fréquence de relâchements précoces massifs et couvre

à la fois le fonctionnement à pleine puissance et tous les modes de fonctionnement à faible puissance et de mise à l'arrêt.

Le logiciel de l'EPS utilisé peut présenter des lacunes, notamment n'offrir qu'un éventail restreint de fonctions (aucun des codes actuels ne propose la gamme complète des fonctions susceptibles d'être utilisées). Si la démarche retenue repose sur une solution précalculée, il peut en résulter une sous-estimation du risque pour certaines configurations de la centrale. Il convient de respecter un équilibre entre la nécessité d'une solution rapide, d'une part, et la précision requise de l'estimation du risque, d'autre part.

Il peut y avoir des insuffisances dans la portée et le détail du processus de conversion de l'EPS vivante à l'EPS temps réel. Bien que ce processus soit bien connu et qu'il existe de nombreux exemples de réussite dans ce domaine, il convient d'être vigilant pour s'assurer que la portée et le détail de la conversion effectuée conviennent pour les utilisations potentielles de l'EPS temps réel en jeu. Les résultats obtenus grâce aux modèles d'EPS vivante et d'EPS temps réel seront d'autant plus fiables que le processus de validation aura été complet et bien documenté.

Les incertitudes qui affectent les résultats numériques relatifs à la fréquence de dommages causés au cœur et de relâchements précoces massifs ne sont pas abordées explicitement par l'EPS temps réel. Cela tient au fait qu'aucun utilisateur de codes de logiciels d'EPS temps réel n'en a fait la demande. C'est pourquoi les incertitudes ne peuvent pas être prises en compte dans le processus décisionnel.

Cependant, il faut admettre que toutes les centrales utilisant une EPS temps réel ont respecté un processus décisionnel intégré. Ce processus conjugue les informations et les indications relatives aux risques résultant de l'EPS temps réel avec les exigences déterministes figurant dans les spécifications techniques de la centrale pour parvenir à une décision. Cette démarche atténue l'effet négatif de nombre des limitations évoquées ci-dessus.

Conclusions

Les conclusions suivantes peuvent être tirées concernant l'état des connaissances dans la mise au point et l'utilisation des EPS temps réel dans les centrales nucléaires :

- L'EPS temps réel est le progrès le plus remarquable intervenu dans l'EPS ces dernières années car elle permet d'utiliser l'EPS en ligne et,

ce faisant, de donner aux utilisateurs la possibilité de suivre et de gérer en temps réel le risque découlant de modifications dans la configuration de la centrale et dans les facteurs environnementaux.

- Un grand nombre de centrales nucléaires dans le monde utilisent avec succès des EPS temps réel. La mise au point et l'utilisation des EPS temps réel apparaissent désormais comme une application logique incontestable de l'EPS.
- Selon de nombreux exploitants de centrales nucléaires, l'EPS temps réel est le moyen le plus économique d'aborder le risque lié à la gestion de la sûreté des centrales.
- Un grand nombre de logiciels d'EPS temps réel de grande qualité sont commercialement disponibles ou en usage dans les pays Membres de l'AEN et d'autres sont en cours de mise au point. Tous offrent un large éventail de fonctions.
- L'EPS vivante n'est pas directement utilisable dans une EPS temps réel et des changements doivent y être apportés pour éliminer les simplifications faites et améliorer les modèles utilisés. On dispose d'une vaste expérience concernant la conversion de l'EPS vivante en vue de son utilisation dans une application d'EPS temps réel et la réalisation de la validation ultérieure de ce modèle.
- Il existe un large consensus quant à la façon de définir les critères de sûreté de fonctionnement utilisés pour distinguer entre elles les fourchettes de risque faible/modéré/élevé/inacceptable et aux modalités de calcul de la durée autorisée d'une configuration. Les coûts de mise en œuvre d'une EPS temps réel devraient être très faibles par rapport aux avantages retirés.
- Les questions et les limitations relatives à l'utilisation des EPS temps réel sont bien comprises, d'où l'utilisation des informations qu'elles fournissent sur les risques comme un apport parmi d'autres dans un processus décisionnel intégré.
- Certaines autorités de sûreté appuient vigoureusement l'utilisation des EPS temps réel et en font elles-mêmes un large usage, alors que d'autres adoptent une attitude plus neutre.

Références

- [1] *Risk Monitors: A Report on the State of the Art in their Development and Use*; IAEA-TECDOC; Publication conjointe par l'AIEA et l'AEN prévue en 2005. Ce rapport sera également disponible sur le site web de l'AEN.
- [2] *Proceedings of the Workshop on Risk Monitor Developments*; Madrid; Publication prévue en 2005.
- [3] *Living Probabilistic Safety Assessment (LPSA)*; IAEA TECDOC Series No. 1106; septembre 1999.

ÉGALEMENT DISPONIBLE

Publications de l'AEN d'intérêt général

AEN infos

ISSN 1605-9581

Abonnement 2005 : €49 US\$ 56 GBP 31 ¥ 6 600

Sûreté nucléaire et réglementation

Debris Impact on Emergency Coolant Recirculation (2004)

Workshop Proceedings, Albuquerque, NM, 25-27 February 2004

ISBN 92-64-000666-4

Price: €90 US\$ 113 £ 62 ¥ 11 500

Advanced Nuclear Reactor Safety Issues and Research Needs (2002)

Workshop Proceedings, Paris, France, 18-20 February 2002

ISBN 92-64-19781-8

Prix : €75 US\$ 65 £ 46 ¥ 8 700

Déclaration collective concernant la recherche sur la sûreté nucléaire

Moyens et compétences techniques au profit de l'efficacité et de l'efficacité du contrôle réglementaire des centrales nucléaires (2004)

ISBN 92-64-02060-8

Gratuit : versions papier ou web.

Bonnes pratiques et critères d'arrêt (2003)

ISBN 92-64-02150-7

Gratuit : versions papier ou web.

Autorités de sûreté face au démantèlement des réacteurs nucléaires (Les) (2003)

ISBN 92-64-02121-3

Gratuit : versions papier ou web.

Coopération autorités de sûreté-industrie pour la recherche en sûreté nucléaire (2003)

Défis et potentialités – ISBN 92-64-02127-2

Gratuit : versions papier ou web.

Examen par les autorités de réglementation nucléaire des auto-évaluations par

l'exploitant (2003) – ISBN 92-64-02133-7

Gratuit : versions papier ou web.

Avis techniques du CSIN

Gratuit : versions papier ou web.

No. 1 : Étude probabiliste de sûreté-incendie des centrales nucléaires (2002)

No. 2 : Étude probabiliste de sûreté-séisme des installations nucléaires (2002)

ISBN 92-64-28490-7

No. 3 : Événements récurrents (2003) – ISBN 92-64-02156-6

No. 4 : L'évaluation probabiliste de la fiabilité humaine dans les centrales nucléaires (2004)

ISBN 92-64-02158-2

No. 5 : Gestion et réglementation des changements organisationnels dans les installations nucléaires (2004) – ISBN 92-64-02070-5

No. 6 : Analyse d'événements fondée sur l'EPS (2004) – ISBN 92-64-01045-9

Bon de commande au dos.

