



**DIRECTION GÉNÉRALE
DE LA SÛRETÉ NUCLÉAIRE
ET DE LA RADIOPROTECTION**

Le directeur général adjoint

DGSNR/SD2/N° 1361 / 2003

Paris, le 26 décembre 2002

Objet : Adoption de la règle fondamentale de sûreté n° 2002-01

La règle fondamentale de sûreté (RFS) n° 2002-01, relative à l'utilisation des études probabilistes pour la sûreté des installations nucléaires de base, est adoptée.

SIGNE PAR :

**/Pour le Directeur général
de la Sûreté Nucléaire et de la Radioprotection
le Directeur général adjoint**

Philippe SAINT RAYMOND

REGLE FONDAMENTALE DE SURETE

DEVELOPPEMENT ET UTILISATION DES ETUDES PROBABILISTES DE SURETE

I OBJET DE LA REGLE

La sûreté des réacteurs nucléaires français repose pour l'essentiel sur des bases déterministes. Les études probabilistes de sûreté (EPS) permettent de compléter les analyses déterministes classiques grâce à leur méthode particulière d'investigation.

Les EPS se composent d'un ensemble d'analyses techniques permettant d'apprécier les risques liés aux installations nucléaires en termes de fréquences d'événements redoutés et de leurs conséquences.

À ce titre, elles apportent une aide dans la définition et la hiérarchisation des actions à mener en vue d'atteindre ou de maintenir un niveau de sûreté satisfaisant.

La présente règle a pour objet de préciser les méthodes acceptables pour le développement des EPS et les applications éprouvées des EPS pour les réacteurs à eau sous pression (REP) du programme électronucléaire français en exploitation ou futurs, compte tenu de l'expérience nationale et internationale disponible en ce domaine.

Le groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires a été consulté pour l'élaboration de la présente règle.

II ENONCE DE LA REGLE

II.1 DOCTRINE EPS

II.1.1 ARTICULATION ENTRE LES APPROCHES DETERMINISTE ET PROBABILISTE

II.1.1.1 JUSTIFICATION DE LA CONCEPTION

La sûreté des réacteurs à eau sous pression (REP) du programme électronucléaire français repose pour l'essentiel sur une conception déterministe fondée sur le concept de défense en profondeur.

Les dispositions de conception retenues par l'exploitant sont justifiées notamment par l'étude d'un nombre limité de conditions de fonctionnement conventionnelles^(*) issues d'événements initiateurs simples et par l'application de règles et critères déterministes qui incluent des marges et des conservatismes.

^(*) Les termes suivis d'un astérisque renvoient au glossaire présenté à la fin de la présente règle

Les résultats de ces études doivent respecter des critères visant à limiter les conséquences des événements retenus. Des conséquences plus élevées peuvent être admises pour des événements ou conditions moins fréquents.

Cette justification porte également sur l'analyse des conditions de fonctionnement comportant des défaillances multiples susceptibles de conduire à des conséquences excédant celles des conditions de fonctionnement conventionnelles et pour lesquelles des dispositions doivent être prises pour en réduire la probabilité ou pour ramener les conséquences à celles des conditions de fonctionnement conventionnelles.

II.1.1.2 APPORTS DES EPS

Les EPS sont une méthode d'évaluation des risques basée sur une investigation systématique des scénarios accidentels. Elles permettent d'obtenir une vue globale de la sûreté, intégrant aussi bien la tenue des équipements que le comportement des opérateurs.

En effet, les EPS considèrent une liste d'événements initiateurs aussi réaliste et complète que possible. Elles permettent de mettre en évidence des situations de fonctionnement couvrant des événements complexes et des cumuls d'événements, notamment celles liées à la perte des systèmes redondants et, selon le domaine de couverture (cf. chapitre II.2), celles liées à l'occurrence d'une agression interne^(*) ou externe^(*).

Les EPS établissent, pour chaque événement initiateur, les séquences accidentelles résultant du succès ou de l'échec des systèmes et actions de conduite amenés à intervenir pour assurer les fonctions de sûreté^(*) et évaluent la fréquence d'un événement redouté qui dépend du type d'EPS (voir chapitre II.2.1). Par sommation de l'ensemble des valeurs des fréquences calculées, elles permettent d'évaluer la fréquence totale de l'événement redouté, la contribution de chaque événement initiateur à la fréquence calculée et l'importance pour la sûreté des équipements et des actions de conduite.

Les EPS aident à estimer le caractère satisfaisant des dispositions retenues par l'exploitant. Elles permettent de hiérarchiser les problèmes de sûreté relatifs à la conception ou l'exploitation des réacteurs et constituent un outil de dialogue entre les exploitants et l'administration.

Pour les réacteurs en exploitation, les EPS contribuent à apprécier le niveau global de leur sûreté et permettent de mettre en évidence des points pour lesquels des évolutions tant de la conception que de l'exploitation peuvent être étudiées, voire jugées nécessaires.

Pour les futurs réacteurs, le développement des EPS s'effectue en même temps que se précise la conception de façon à mettre en évidence des situations comportant des défaillances multiples pour lesquelles des dispositions devront être prises pour en réduire la fréquence ou en limiter les conséquences.

II.1.2 EPS DE REFERENCE

II.1.2.1 REACTEURS EN EXPLOITATION

Pour chaque type de réacteurs, l'exploitant élabore une EPS de référence.

Son domaine de couverture est défini dans le chapitre II.2 et les méthodes acceptables pour la réaliser sont décrites dans le chapitre II.3.

L'exploitant inclut, dans le rapport de sûreté, à l'occasion de chaque réexamen de sûreté, une synthèse de l'EPS de référence cohérente avec l'état de réalisation et d'exploitation des réacteurs. Elle présente notamment les principales hypothèses d'étude et les contributions dominantes à la fréquence calculée de fusion du cœur.

L'EPS de référence est construite et mise à jour de telle manière qu'elle puisse être utilisée pour les principales applications, notamment celles présentées dans le chapitre II.4.

II.1.2.2 FUTURS REACTEURS

Lors de la conception des réacteurs, l'EPS de référence est élaborée par étapes successives.

De même que pour les réacteurs en exploitation, son domaine de couverture est défini dans le chapitre II.2 et les méthodes acceptables pour la réaliser sont décrites dans le chapitre II.3. Une synthèse de l'EPS de référence, incluant notamment les principales hypothèses d'étude et les contributions dominantes à la fréquence calculée de fusion du cœur, est présentée dans le rapport préliminaire de sûreté.

II.1.3 PRINCIPES D'UTILISATION DES EPS

Le terme « application des EPS » qualifie toute approche de sûreté des réacteurs qui a recours à l'utilisation de méthodes probabilistes pour aider à la prise de décision, notamment en termes d'évolution de la conception, de l'exploitation et de la préparation à la gestion des accidents.

La méthode d'utilisation ainsi que les caractéristiques des EPS associées à chaque application - dont leur domaine de couverture (chapitre II.2) - dépendent de l'application considérée. La pertinence des résultats des EPS est à apprécier au cas par cas, en fonction de l'application réalisée.

Pour certaines applications, la méthode d'utilisation peut inclure une référence à des objectifs probabilistes (en valeur absolue ou relative, de façon globale ou partielle), en tenant compte, notamment, des incertitudes. Ces objectifs doivent être considérés comme des valeurs d'orientation et non comme des limites strictes.

Dans le chapitre II.4 sont citées des applications qui peuvent donner lieu à des évolutions en termes de conception et d'exploitation réalisées soit à l'initiative de l'exploitant, soit à la demande de l'administration, ou qui permettent d'apporter une justification au maintien en l'état d'une installation.

II.2 DOMAINE DE COUVERTURE DES EPS

II.2.1 GENERALITES

Une installation est caractérisée par un état de réalisation et par l'organisation de son exploitation. Une EPS peut être représentative d'un réacteur ou d'un type de réacteurs. L'EPS de référence est définie pour un type de réacteurs et traite des conséquences sur un seul réacteur.

Le domaine de couverture d'une EPS, pour une installation donnée, est défini par la nature des conséquences examinées et par les événements étudiés.

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

- une EPS de niveau 1 permet d'identifier les séquences menant à la fusion^(*) du cœur et de déterminer leurs fréquences,
- une EPS de niveau 2 permet d'évaluer la nature, l'importance et les fréquences des rejets hors de l'enceinte de confinement,
- une EPS de niveau 3 permet d'évaluer les fréquences calculées de conséquences exprimées en termes dosimétriques ou en termes de contamination (voire en termes de fréquences de cancers ou d'autres effets sur la santé).

Les événements étudiés peuvent inclure les événements initiateurs^(*) d'origine interne à l'installation (défaillances d'origine matérielle ou humaine, incendie ou inondation interne...) ou d'origine externe (séisme, incendie ou inondation externe, tornade, etc.), associés aux différents états du réacteur.

D'autres scénarios peuvent également être considérés de manière probabiliste, comme par exemple ceux induits par la perte du refroidissement de la piscine de désactivation du combustible. Des scénarios de rejet sans fusion du cœur peuvent également être examinés de manière probabiliste. Ces types de scénarios ne font pas explicitement partie d'une EPS telle que définie dans la présente RFS.

II.2.2 DOMAINE DE COUVERTURE PERTINENT

Pour toute application, l'exploitant retient un domaine de couverture et justifie de sa pertinence.

L'EPS de référence couvre de façon aussi réaliste et complète que possible les événements d'origine interne (hors agressions) affectant la chaudière, considérés dans tous les états du réacteur dans lesquels ils sont susceptibles de se produire et examine les séquences accidentelles^(*) correspondantes jusqu'à la fusion du cœur.

Son domaine de couverture pourra être étendu au traitement de certaines agressions internes et externes ainsi qu'à l'évaluation des fréquences de rejets avec fusion du cœur, selon l'importance des résultats obtenus, la pertinence des analyses et l'intérêt des applications qui en découlent.

II.2.3 ETUDES PARTICULIERES

L'exploitant peut être amené à développer des études particulières pour répondre à des besoins non couverts par l'EPS de référence, à savoir :

- adapter ou compléter l'EPS de référence pour des applications, par exemple pour l'analyse probabiliste de certains événements,
- valider ou justifier certaines hypothèses de simplification de l'EPS de référence, par exemple par une étude des séquences sur une durée plus longue que la durée retenue dans l'EPS de référence,
- entre deux versions successives des EPS de référence, traiter de nouvelles préoccupations en matière de sûreté (mise en évidence de problèmes de sûreté par

l'expérience d'exploitation ou par l'amélioration des connaissances) ou évaluer l'impact d'une modification de conception ou d'exploitation définie en dehors des réexamens de sûreté,

- étendre le domaine de couverture de l'EPS de référence, par exemple :
 - en regroupant les séquences accidentelles menant à la fusion du cœur en fonction de caractéristiques relatives à l'importance des rejets,
 - pour un événement initiateur affectant plusieurs réacteurs d'un site, en traitant les conséquences sur l'ensemble des réacteurs considérés.

Les études particulières sont réalisées autant que possible avec les méthodes décrites dans le chapitre II.3.

L'intégration éventuelle des études particulières dans l'EPS de référence et les modalités associées (simplification des études par exemple) sont décidées au cas par cas, lors de la mise à jour de l'EPS de référence.

Le terme « *les EPS* » correspond à l'ensemble constitué par l'EPS de référence et les études particulières.

II.3 METHODES ACCEPTABLES POUR LA REALISATION DES EPS DE NIVEAU 1

Ce chapitre présente des méthodes acceptables pour la réalisation de l'EPS de référence et des études particulières utilisées dans un dossier transmis à l'appui d'une demande d'autorisation.

Les méthodes mentionnées sont actuellement limitées à l'étude des événements initiateurs d'origine interne hors agressions.

Elles s'appliquent aux EPS réalisées pour les réacteurs en exploitation et pour les futurs réacteurs, sauf sur des points particuliers qui sont explicitement mentionnés.

II.3.1 IDENTIFICATION DES EVENEMENTS INITIATEURS

II.3.1.1 DEFINITION

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

Ce paragraphe traite les événements initiateurs d'origine interne, hors agression (incendie ou inondation interne), ainsi que la perte des alimentations électriques externes et la perte de la prise d'eau.

II.3.1.2 EVENEMENTS INITIATEURS RETENUS

La liste des événements initiateurs étudiés est la plus complète possible. La meilleure approche pour tendre vers l'exhaustivité consiste en l'utilisation de toutes les sources d'informations disponibles, à savoir :

- le rapport de sûreté sur la base, notamment, des conditions de fonctionnement,
- l'expérience d'exploitation des réacteurs français et étrangers,
- les pratiques internationales,
- l'amélioration des connaissances ou les études particulières,
- les EPS déjà réalisées.

En vue de rendre la liste la plus complète possible, il est préconisé d'employer des méthodes déductives afin de déterminer, pour chaque fonction de sûreté concernée, les défaillances élémentaires ou combinaisons de défaillances élémentaires qui contribuent à leur perte.

La recherche d'événements initiateurs est réalisée pour tous les états du réacteur à traiter dans l'EPS.

II.3.1.3 REGROUPEMENTS DES EVENEMENTS INITIATEURS

Pour simplifier l'étude et l'exploitation des résultats, les événements initiateurs peuvent être regroupés selon leurs conséquences sur l'accomplissement des fonctions de sûreté.

Les regroupements et les choix d'hypothèses sont documentés et justifiés.

II.3.1.4 ÉVENEMENTS INITIATEURS NEGLIGES DANS L'ETUDE

Les événements initiateurs négligés font l'objet d'une justification en considérant à la fois leur fréquence et leurs conséquences.

II.3.2 CONSTRUCTION DES SEQUENCES ACCIDENTELLES

L'exploitant modélise le comportement de l'installation à la suite d'un événement initiateur par des séquences accidentelles en envisageant l'occurrence de défaillances supplémentaires.

Une méthode appropriée pour la construction des séquences accidentelles est la méthode des arbres d'événements^(*).

Elle permet de visualiser le déroulement des scénarios possibles, de déterminer les événements à étudier (missions des systèmes ou missions de conduite destinées à limiter les conséquences dans le déroulement de la séquence accidentelle) et de tenir compte des dépendances temporelles et fonctionnelles entre événements.

L'analyse des séquences accidentelles est menée soit jusqu'à un état d'échec caractérisé par le franchissement d'un ou plusieurs critères de découplage assimilé à une fusion du cœur inévitable, soit jusqu'à un état de succès pour lequel la fusion du cœur peut être exclue.

Pour la construction des séquences accidentelles et la quantification de leurs fréquences, il convient de considérer les points mentionnés ci-après.

II.3.2.1 ÉTATS D'ECHEC OU DE SUCCES DES SEQUENCES ACCIDENTELLES

L'objectif d'une EPS de niveau 1 est d'évaluer les fréquences des différentes séquences accidentelles menant à la fusion du cœur. Néanmoins, en pratique, la fusion du cœur est remplacée par des critères de découplage introduits afin de simplifier l'étude.

Peuvent par exemple être cités le découvrément prolongé des assemblages combustibles sans possibilité de restaurer durablement l'inventaire en eau, des sollicitations de la cuve au-delà des conditions de sa tenue, l'injection dans le cœur d'un volume critique d'eau non suffisamment borée, une température maximale de gaine.

Les critères de découplage retenus pour caractériser l'état d'échec sont documentés et justifiés.

L'état de succès est caractérisé par la maîtrise durable des fonctions de sûreté de la chaudière. Il peut notamment résulter de la suppression de la défaillance initiale.

II.3.2.2 DUREE RETENUE POUR L'ETUDE DES SEQUENCES ACCIDENTELLES

Chaque séquence accidentelle est étudiée sur la durée nécessaire pour atteindre l'état de succès.

Par souci de simplification, une durée commune peut être retenue pour la majorité des séquences accidentelles (une durée de 24 heures est généralement retenue, si l'étude ne considère pas d'événement initiateur d'origine externe).

Il est néanmoins nécessaire, dans certains cas, de tenir compte des événements qui surviendraient ultérieurement de façon inéluctable ou des modes de défaillance spécifiques à des équipements qui ne sont pas utilisés à court terme.

Des durées plus courtes peuvent également être considérées, en cas d'atteinte précoce de l'état de succès.

Les durées d'étude des séquences accidentelles et les hypothèses simplificatrices adoptées sont documentées et justifiées. On peut utiliser à cet égard des méthodes particulières de type graphe d'état ^(*).

II.3.2.3 DETERMINATION DES MISSIONS DES SYSTEMES ET DES MISSIONS DE CONDUITE

L'étude des séquences accidentelles permet d'identifier les missions des systèmes et les missions de conduite dont l'échec a une influence sur le déroulement du scénario accidentel. Ces missions varient suivant l'événement initiateur considéré et l'état de l'installation :

- la mission de chaque système est ainsi clairement définie en fonction du scénario accidentel ; elle est caractérisée par un critère de succès^(*) traduisant le respect d'exigences fonctionnelles. Celles-ci s'expriment généralement en termes de configuration, de nombre de trains nécessaires pour assurer la fonction, de valeurs requises de paramètres physiques, de délai pendant lequel la fonction doit être assurée. Pour les systèmes intervenant dans l'étude, les exigences fonctionnelles correspondantes et les critères de succès des missions sont documentés et justifiés,
- le succès d'une mission de conduite correspond, dans la plupart des cas, à la réalisation d'une action appropriée dans un délai donné. L'échec d'une mission de conduite peut, de plus, être dû à une action inopportune. Des études du déroulement thermohydraulique d'une séquence accidentelle permettent de déterminer le délai maximum dont disposent les opérateurs pour effectuer l'action considérée afin de respecter le critère de succès ou de préciser les conséquences d'une action inopportune et éventuellement le délai disponible pour sa récupération. Les missions de conduite retenues ainsi que les critères de succès associés sont documentés et justifiés.

Les hypothèses utilisées dans l'EPS pour l'élaboration et la quantification des séquences accidentelles doivent être aussi réalistes que le permet l'état des connaissances. Il convient en effet dans la mesure du possible d'éviter d'introduire des conservatismes excessifs qui peuvent fausser la hiérarchisation des séquences ou l'évaluation des améliorations possibles.

Dans le cas où les connaissances ne seraient pas suffisantes pour statuer précisément sur les critères de succès qui interviennent dans des séquences de fréquence significative, des études de sensibilité sont effectuées.

II.3.2.4 CALCULS PHYSIQUES ASSOCIES AUX SEQUENCES ACCIDENTELLES

La détermination des critères de succès des missions des systèmes et des missions de conduite résulte généralement de résultats de calculs physiques.

L'exigence de réalisme porte ici à la fois sur les études physiques utilisées en support et sur la cohérence entre la succession d'événements qui fait l'objet de la quantification probabiliste et celle qui entre dans l'étude support (généralement thermohydraulique). Il est ainsi nécessaire d'effectuer un certain nombre d'études physiques spécifiques aux EPS, les études déterministes figurant dans le rapport de sûreté étant effectuées avec des hypothèses conventionnelles généralement conservatives.

Il est généralement admis d'utiliser les valeurs les plus probables des paramètres physiques (conditions initiales et conditions aux limites). Il convient de s'assurer, par des études de sensibilité, de l'absence « d'effet falaise » lors des variations de ces paramètres autour des valeurs retenues. En présence d'un effet falaise, une modélisation plus détaillée est alors nécessaire.

Par ailleurs, dans certains cas, des conservatismes ne peuvent pas être évités pour pallier par exemple un manque de connaissances dans un domaine donné. Si, pour une séquence accidentelle, les connaissances ne permettent pas de démontrer que la fusion du cœur peut être évitée, il faut apprécier, compte tenu de sa probabilité, l'intérêt de mener des développements complémentaires, et, le cas échéant, considérer que la séquence mène à la fusion du cœur.

II.3.2.5 TRAITEMENT DES DEPENDANCES

Il peut exister des dépendances entre un événement initiateur et les événements (missions des systèmes, missions de conduite) considérés dans les arbres d'événements, ou entre les événements eux-mêmes. Ces dépendances sont de deux types :

- les dépendances fonctionnelles ; les événements représentant des missions de systèmes sont généralement modélisés par des arbres de défaillance. Des composants, parties de systèmes ou systèmes supports^(*), peuvent être communs à plusieurs systèmes ; les probabilités de ces événements ne sont donc pas « indépendantes »,
- les dépendances temporelles ; l'instant de démarrage d'un système et sa durée de fonctionnement peuvent être fonction de la durée de bon fonctionnement ou de la durée d'indisponibilité d'un autre système.

L'EPS traite ces deux types de dépendances ; les simplifications effectuées sont documentées et justifiées.

II.3.2.6 TRAITEMENT DES RESTAURATIONS

Afin d'établir des scénarios réalistes, notamment dans le cas des séquences pour lesquelles la fusion du cœur intervient à moyen ou long terme, il convient de tenir compte des diverses possibilités de restauration^(*), qu'il s'agisse de la réparation de composants d'un système, dont la défaillance concourt à l'événement initiateur ou à l'aggravation de ses conséquences, ou d'une intervention humaine afin de mettre en œuvre la stratégie adéquate.

Le délai entre la défaillance des systèmes et la fusion du cœur peut notamment être mis à profit pour traiter dans l'EPS la réparation de l'un des systèmes dont la défaillance intervient dans la séquence accidentelle étudiée.

II.3.2.7 SIMPLIFICATION DES ARBRES D'EVENEMENTS

Les scénarios négligés font l'objet d'une justification en considérant à la fois leurs fréquences et leurs conséquences.

II.3.3 ANALYSE DES MISSIONS DES SYSTEMES

L'étude des séquences accidentelles permet d'identifier la liste des missions des systèmes qu'il convient d'analyser.

Pour chaque mission d'un système modélisée dans l'EPS, intervenant soit dans une séquence accidentelle (cf. § II.3.2.3), soit en tant qu'événement initiateur, les différentes combinaisons de défaillances qui provoquent l'échec de la mission considérée sont recensées et la probabilité correspondante est déterminée.

Chaque système est modélisé à partir d'un certain nombre de données d'entrée : les missions auxquelles il participe, l'identification et le rôle de ses divers composants, ses configurations en situation normale, incidentelle ou accidentelle, les essais et la maintenance des matériels, ses limites fonctionnelles, ses interfaces avec les autres systèmes, son environnement physique.

Le niveau de détail de la modélisation est fonction des applications envisagées.

L'évaluation de la probabilité d'échec d'une mission est réalisée lors de la quantification des séquences. L'échec d'une mission est caractérisé par le fait que le critère de succès n'est pas respecté.

II.3.3.1 ANALYSE DES DEFAILLANCES

Pour chaque système considéré, l'exploitant recense les défaillances des équipements et des composants, actifs ou passifs, affectant le caractère opérationnel du système. Cette action nécessite une connaissance approfondie du système et de son fonctionnement. Elle peut être réalisée par une Analyse des Modes de Défaillance et de leurs Effets^(*) (AMDE).

Sont particulièrement examinés :

- les défauts préexistants (par suite d'une erreur humaine, par exemple mauvaise remise en configuration du système après essai périodique, ou d'une défaillance matérielle),
- les défaillances de cause commune^(*) de composants,
- les matériels communs à plusieurs systèmes,
- les défaillances temporelles de type épuisement d'une réserve d'eau au cours du temps,
- les conditions de mise en œuvre des équipements (automatismes ou actions humaines),

- les configurations du système susceptibles de conduire à des défaillances d'équipements du système ou des systèmes connectés,
- l'impact de l'exploitation sur la disponibilité des équipements (procédures de test et de maintenance, prescriptions des spécifications techniques d'exploitation, procédures d'exploitation normale ou incidentelles),
- les possibilités de restauration.

L'expérience d'exploitation (événements survenus sur le système ou sur des systèmes d'autres centrales) est examinée dans le cadre de cette analyse.

II.3.3.2 METHODES DE MODELISATION

Les méthodes de modélisation permettent d'identifier les combinaisons d'événements conduisant à l'échec de la mission considérée et de quantifier les probabilités correspondantes.

La méthode des arbres de défaillance^(*) est la méthode la plus classique. Elle est notamment utilisée pour les cas de fonctionnement de matériels en redondance active (fonctionnement simultané) et pour des composants considérés comme non réparables. Dans les cas plus complexes (fonctionnement des matériels en redondance passive (normal-secours), traitement de configurations ou modes de fonctionnement successifs, de restaurations de matériels défaillants, de dépendances temporelles), il peut être jugé nécessaire d'utiliser d'autres types de modélisation, comme les graphes d'états.

La méthode employée est documentée et justifiée, en particulier dans les cas d'utilisation de méthodes de type arbres de défaillance pour le traitement de cas complexes. Des études particulières peuvent être effectuées pour valider ou justifier les hypothèses simplificatrices utilisées dans l'EPS de référence.

II.3.4 DONNEES QUANTITATIVES D'ENTREE

Les données nécessaires pour les EPS peuvent être réparties en plusieurs catégories :

- les données d'exploitation, telles que les durées moyennes des états standards^(*) du réacteur, les durées d'indisponibilité des matériels dans ces différents états (pour maintenance corrective, pour maintenance préventive ou pour essai périodique des matériels),
- les fréquences des événements initiateurs et les temps de restauration associés,
- les données de fiabilité des matériels,
- les probabilités de défaillance des équipements fonctionnant au-delà de leurs conditions de qualification,
- les données relatives aux défaillances de cause commune,
- les données spécifiques aux facteurs humains.

Les incertitudes associées aux données les plus importantes sont identifiées et quantifiées.

II.3.4.1 GENERALITES SUR LES METHODES DE COLLECTE DES DONNEES

II.3.4.1.1 REACTEURS EN EXPLOITATION

Pour les réacteurs en exploitation, l'utilisation de l'expérience d'exploitation des installations françaises est privilégiée.

Afin d'élaborer des données de fiabilité représentatives pour les EPS, l'exploitant met en place une organisation pour permettre la collecte sur les sites de données brutes ainsi que le recensement de l'ensemble des éléments descriptifs des anomalies et défaillances observées. Les durées globales de fonctionnement des matériels et les nombres de sollicitations sont recueillis. L'examen des données brutes est complété par une analyse d'identification des défaillances de cause commune constatées ou envisageables.

Cette collecte porte sur l'ensemble des équipements ayant un impact significatif sur la fréquence de fusion du cœur.

En l'absence d'une expérience d'exploitation française suffisante, d'autres méthodes sont employées.

Ainsi, des banques de données internationales peuvent être consultées. Elles permettent par exemple d'estimer les fréquences d'événements initiateurs peu fréquents à l'aide de l'expérience d'exploitation mondiale. Une analyse critique des données contenues dans ce type de banques de données est toutefois nécessaire.

En cas d'absence de données représentatives pour un matériel, la loi du χ^2 à 50% de niveau de confiance ou des avis d'experts^(*) peuvent être utilisés pour estimer les données de fiabilité. Les estimations ainsi que les incertitudes associées sont documentées.

II.3.4.1.2 FUTURS REACTEURS

Pour les EPS réalisées à la conception des futurs réacteurs, en l'absence de données éprouvées, une base de données de fiabilité est élaborée à partir de données issues de l'expérience d'exploitation pour des équipements similaires (cas d'un réacteur de conception évolutionnaire), ou de données internationales (cas d'un nouveau type de réacteurs).

II.3.4.2 PROFIL DE FONCTIONNEMENT

II.3.4.2.1 REACTEURS EN EXPLOITATION

Pour les réacteurs en exploitation, le profil de fonctionnement retenu dans l'EPS traduit les durées moyennes passées dans les différents états standards ainsi que les fréquences de certains transitoires d'exploitation.

Il est déterminé à partir de l'expérience d'exploitation des réacteurs observée sur les années les plus récentes, en tenant compte des évolutions d'exploitation. Dès lors que des modifications de modalités d'exploitation ont été décidées, il est admis de les considérer dans l'EPS de référence.

L'exploitant conserve dans l'EPS des états du réacteur très peu fréquents si le risque associé à ces états peut être significatif.

II.3.4.2 FUTURS REACTEURS

Pour les EPS réalisées à la conception des futurs réacteurs, le profil de fonctionnement retenu dans l'étude est un profil prospectif. Il est notamment fondé sur l'expérience d'exploitation des réacteurs récents, sur les durées prévisionnelles entre les opérations de rechargement du combustible et sur la planification des arrêts du réacteur.

II.3.4.3 QUANTIFICATION DES FREQUENCES DES EVENEMENTS INITIATEURS

Les événements initiateurs sont classés en trois catégories :

- les événements initiateurs fréquents ; ils sont observés régulièrement sur les réacteurs français,
- les événements initiateurs rares ; ils ont été observés au moins une fois sur les réacteurs français ou étrangers,
- les événements initiateurs hypothétiques ; aucun événement de ce type n'est jamais survenu dans le monde.

La méthode de calcul de la fréquence d'un événement initiateur est essentiellement fonction de l'appartenance de celui-ci à l'une des catégories précitées.

Pour les événements initiateurs fréquents, il convient d'utiliser l'expérience d'exploitation française. Selon l'événement initiateur concerné, sont utilisées les données relatives à un type de réacteurs ou les données relatives à l'ensemble du parc français. Les données sont d'autant plus robustes que la période d'observation est longue. Néanmoins, de façon justifiée, certaines périodes d'observation peuvent être exclues, pour tenir compte de modifications introduites dans l'exploitation des réacteurs ou de l'évolution de l'état des matériels.

Pour les événements initiateurs rares, les valeurs utilisées sont élaborées à partir de l'expérience d'exploitation mondiale, en tenant compte des spécificités de conception, de fabrication, d'installation, ainsi que des règles d'exploitation et de surveillance en service des réacteurs français.

Pour les événements initiateurs hypothétiques, les valeurs sont estimées par avis d'experts, fondés en règle générale sur des études de conception, en tenant compte notamment de l'absence d'observations mondiales et des valeurs utilisées dans les EPS étrangères.

Par ailleurs, pour certains types d'événements initiateurs résultant de défaillances de systèmes, la fréquence de l'événement initiateur est calculée comme la combinaison des défaillances élémentaires correspondantes, selon la méthode décrite au paragraphe II.3.3.

Enfin, pour un même événement initiateur, des fréquences horaires différentes peuvent être utilisées pour différents états du réacteur ; là encore, les valeurs correspondantes sont documentées et justifiées.

II.3.4.4 DONNEES DE FIABILITE DES MATERIELS (DEFAILLANCES INDEPENDANTES)

Pour chaque matériel d'un système modélisé dans l'EPS sont associés des modes de défaillance susceptibles de conduire à l'échec des missions du système.

Suivant le matériel considéré et les modes de défaillance envisagés, il convient d'évaluer les paramètres de fiabilité suivants : taux de défaillance à la sollicitation, taux de défaillance en fonctionnement ou à l'arrêt, taux d'indisponibilité, temps de réparation, ainsi que les incertitudes associées.

Pour tout équipement donné, son appartenance à une famille d'équipements est définie pour permettre l'évaluation statistique des paramètres de fiabilité, à partir de considérations sur les caractéristiques technologiques et fonctionnelles des équipements, ainsi que sur la période d'observation. La pertinence des échantillons retenus (la pertinence se jugeant en fonction de la représentativité de l'échantillon) est justifiée.

A partir des données brutes recueillies sur site, sont distinguées les défaillances critiques d'un équipement (défaillances entraînant l'échec de la fonction qui lui est assignée dans la mission d'un système) des défaillances non critiques (défaillances partielles, dégradations n'empêchant pas l'accomplissement de la fonction). Il faut noter que le caractère critique des défaillances est parfois difficile à apprécier et certaines défaillances considérées comme non critiques peuvent être retenues, pour l'estimation du taux de défaillance, en étant pondérées par un facteur traduisant une estimation de la probabilité de leur criticité. Le choix des défaillances retenues et des facteurs de pondération utilisés est documenté et justifié.

Lorsqu'une modification importante, de conception ou d'exploitation, a été effectuée sur un matériel ayant été affecté par une défaillance avérée et que cette modification est jugée efficace sur la base de l'expérience d'exploitation ou à défaut par des analyses prévisionnelles, il convient de réévaluer les défaillances et les temps cumulés de fonctionnement à prendre en compte. L'exploitant justifie la nouvelle estimation du paramètre de fiabilité.

II.3.4.5 FIABILITE DES EQUIPEMENTS FONCTIONNANT AU-DELA DE LEURS CONDITIONS DE QUALIFICATION

Dans certaines séquences accidentelles, des équipements sont sollicités au-delà de leurs conditions de qualification. Les données issues de l'expérience d'exploitation ne sont alors plus applicables et, en l'absence de données, de justifications ou de l'existence éventuelle de marges au niveau de leur qualification, les équipements sont considérés comme défaillants.

Cependant, si l'impact de cette défaillance sur la fréquence de fusion du cœur est significatif, il convient d'effectuer des essais ou des études, puis de recourir à des avis d'experts pour évaluer une probabilité réaliste de défaillance et l'incertitude associée.

II.3.5 DEFAILLANCES DE CAUSE COMMUNE (IDENTIFICATION ET QUANTIFICATION)

Les défaillances désignées par l'appellation « défaillances de cause commune » sont des défaillances pouvant affecter simultanément, ou pendant la durée de la mission, plusieurs composants et qui ont la même cause, par exemple une erreur de conception, de fabrication, d'installation ou de montage, une erreur de maintenance, ou un effet de l'environnement.

Les conséquences des défaillances des systèmes supports (alimentations électriques, air comprimé, source froide...) et les agressions internes ou externes entraînant la défaillance de plusieurs équipements n'entrent pas dans cette appellation et sont traitées par ailleurs.

Les défaillances liées à une mauvaise configuration de matériels ne sont pas considérées en tant que défaillance de cause commune.

L'évaluation des taux de défaillance de cause commune présente deux étapes majeures : d'une part la détermination des composants pour lesquels des défaillances de cause commune peuvent être envisagées, d'autre part l'obtention de données.

Il convient de procéder tout d'abord à la sélection des groupes de matériels susceptibles d'être le siège de défaillances de cause commune. Cette sélection repose sur l'analyse de l'expérience d'exploitation et sur l'analyse a priori des conséquences des cumuls de défaillances.

En pratique, lors de la sélection de ces groupes de matériels, sont au minimum associés les matériels identiques d'un même système et assurant la même fonction dans des conditions comparables.

Ainsi, suivant le type de dépendance mis en évidence, sont introduites, dans l'étude, selon les matériels considérés, des défaillances de cause commune pouvant affecter les matériels à la sollicitation ou en fonctionnement. Il convient également d'examiner, pour le fonctionnement en « normal-secours » de matériels, si certaines dépendances sont susceptibles de provoquer simultanément la défaillance du composant en fonctionnement et le refus de démarrage du composant en attente.

L'obtention de valeurs de taux de défaillance de cause commune nécessite une analyse de l'expérience d'exploitation disponible. Compte tenu de la rareté des défaillances de cause commune réellement survenues, les observations peuvent être étendues aux événements révélateurs de possibilités de défaillances de ce type. Il peut également être fait appel à des recueils de données internationales. Pour estimer les valeurs associées, il convient alors d'effectuer des ajustements appropriés.

II.3.6 EVALUATION DE LA FIABILITE HUMAINE

La méthode retenue pour l'évaluation de la fiabilité humaine doit être cohérente avec l'état de l'art et respecter les règles ci-après, relatives aux aspects suivants :

- l'analyse de la fiabilité humaine en conduite normale,
- l'analyse de la fiabilité humaine en conduite accidentelle,
- l'acquisition de données quantifiées,
- la fiabilité humaine dans les EPS réalisées à la conception des futurs réacteurs.

II.3.6.1 ANALYSE DE LA FIABILITE HUMAINE EN CONDUITE NORMALE

Les actions humaines relevant de la conduite normale sont classées en deux catégories :

- une première catégorie regroupe les actions qui contribuent à l'indisponibilité d'équipements, comme par exemple le mauvais réglage d'un capteur ou la mauvaise position d'une vanne. Ces actions sont modélisées dans l'analyse des systèmes,
- une seconde catégorie regroupe les actions humaines pouvant conduire à un événement initiateur. Il est souhaitable de les recenser de la façon la plus exhaustive possible, en utilisant l'expérience d'exploitation, ainsi que l'analyse des opérations de

conduite normale, des essais et de la maintenance. Ces actions sont considérées dans l'estimation de la fréquence de l'événement initiateur concerné.

Une attention particulière est accordée au traitement des récupérations des erreurs et des dépendances entre erreurs pour les actions de ces deux catégories, en fonction des informations dont disposent les opérateurs.

II.3.6.2 ANALYSE DE LA FIABILITE HUMAINE EN CONDUITE ACCIDENTELLE

L'étude des séquences accidentelles permet d'identifier les missions de conduite dont il convient d'analyser qualitativement et quantitativement les possibilités d'échec (cf. § II.3.2.3).

Le nombre d'opérations à exécuter par les opérateurs à la suite d'un accident est souvent très important. Néanmoins, seules quelques-unes de ces opérations ont une influence sur le déroulement du scénario accidentel ; elles sont modélisées dans les missions de conduite. L'échec d'une mission de conduite peut provenir du défaut de réalisation d'une action appropriée ou de l'exécution d'une action inopportune.

L'analyse d'une mission de conduite et la quantification de son échec tient compte notamment des paramètres suivants :

- le délai disponible pour réaliser la mission,
- le temps nécessaire à sa réalisation,
- la difficulté et la complexité de la mission,
- la conduite prescrite,
- l'interface homme - machine,
- les documents d'exploitation associés à l'état de référence et les règles générales d'exploitation,
- la formation des acteurs,
- l'organisation de la conduite,
- les facteurs environnementaux (fumée, chaleur, ambiance radioactive,...).

De plus, il convient de porter une attention particulière au contexte spécifique de la séquence accidentelle au cours de laquelle la mission de conduite est réalisée, afin de conforter le réalisme de l'étude. Enfin, les dépendances entre les diverses missions de conduite identifiées pour la séquence accidentelle ainsi que les possibilités de récupération de leur échec sont examinées.

Dans certains cas, la quantification peut conduire à des résultats très sensibles à de petites variations de certains paramètres (« effet falaise »). Il convient alors de réaliser des quantifications détaillées des situations à différencier.

Les choix retenus lors de l'analyse des missions de conduite et de la quantification de leur échec sont documentés et explicités.

II.3.6.3 ACQUISITION DE DONNEES QUANTIFIEES

Pour l'acquisition de données quantifiées et l'évaluation des incertitudes associées, il convient d'utiliser par ordre de préférence les sources d'information suivantes : l'expérience d'exploitation des centrales, les observations recueillies sur simulateur, les données internationales et les avis d'experts.

La méthode d'analyse et de quantification de l'échec des missions de conduite en situation accidentelle nécessite notamment la réalisation d'essais sur simulateur à pleine échelle.

Il convient de documenter les sources d'information utilisées et d'en justifier la pertinence, en particulier pour l'utilisation faite des essais réalisés sur simulateur.

II.3.6.4 FIABILITE HUMAINE DANS LES EPS REALISEES A LA CONCEPTION DES FUTURS REACTEURS

Pour les EPS réalisées à la conception des futurs réacteurs, certaines données importantes telles que les procédures de conduite, l'organisation de la conduite, les études sur simulateur ou l'interface homme - machine ne sont pas disponibles. Il est néanmoins souhaitable que l'évaluation de la fiabilité humaine reflète au minimum les grandes options retenues par le concepteur de ces réacteurs dans les domaines liés à la conduite et aux facteurs humains.

II.3.7 METHODE DE QUANTIFICATION DES SEQUENCES ACCIDENTELLES

La quantification tient compte de la complexité des modèles, de la volonté d'effectuer une évaluation aussi réaliste et complète que possible, mais aussi de la nécessité d'obtenir un modèle qui puisse être utilisé facilement. Le choix de la méthode résulte d'un compromis entre la qualité de l'étude et sa souplesse d'utilisation.

Le principe général de toutes les méthodes existantes consiste à relier les différents modèles établis (modèles d'analyse des missions des systèmes, modèles de représentation des scénarios), pour aboutir à une quantification globale à partir des données quantitatives d'entrée. Au sein de ce schéma, il n'y a pas de solution unique pour la quantification, mais différentes possibilités qui peuvent être choisies selon l'application considérée.

La méthode dite de « fusion booléenne » consiste à représenter les systèmes par des arbres de défaillance et à les combiner pour chaque séquence identifiée dans l'arbre d'événements en un modèle logique pour évaluer la fréquence de fusion du cœur associée. Cette approche facilite le traitement des dépendances fonctionnelles, notamment l'intégration des systèmes support. Néanmoins, les aspects dynamiques tels que les fonctionnements de type normal-secours ou la prise en compte des restaurations ne peuvent être traités que par des approximations.

La méthode d'enchaînement numérique consiste à calculer séparément les probabilités d'échec des missions de systèmes et des missions de conduite, puis à reporter les résultats numériques dans les calculs des fréquences des séquences. Cette approche exige une analyse a priori des dépendances fonctionnelles. Elle permet de prendre en compte les aspects dynamiques (par exemple au moyen de graphes d'états). Elle est généralement limitée à des cas particuliers, notamment pour valider les approximations faites dans un modèle plus simple.

Les méthodes employées et les simplifications effectuées sont documentées et explicitées. En particulier, le traitement des aspects dynamiques doit être justifié.

II.3.8 EXTENSION DES EPS DE NIVEAU 1 : REGROUPEMENT DES SEQUENCES ACCIDENTELLES SELON L'IMPORTANCE DES REJETS ASSOCIES

Une étude particulière permettant l'extension des EPS de niveau 1 consiste à regrouper des séquences accidentelles de niveau 1 selon l'importance des rejets pouvant résulter de ces séquences.

Ces regroupements, s'ils ne constituent pas des catégories de rejets, fournissent néanmoins des informations sur les rejets pouvant résulter des différentes séquences accidentelles. A ce titre, ils peuvent contribuer à une hiérarchisation des séquences accidentelles menant à la fusion du cœur, notamment dans le cadre du réexamen de sûreté des réacteurs.

Ces regroupements sont éventuellement précédés d'un développement complémentaire des arbres d'événements des EPS de niveau 1, de manière à tenir compte dans ces arbres de l'état des systèmes et matériels participant au maintien du confinement du réacteur ou à la maîtrise des rejets.

Le regroupement des séquences accidentelles est effectué en fonction de caractéristiques ayant une influence sur l'importance des rejets associés. Il s'agit par exemple :

- de l'état de la fonction de confinement, en particulier de la possibilité de bippasses de l'enceinte de confinement,
- des possibilités de maîtrise de l'accident ou de limitation de ses conséquences, au moyen de dispositifs ou d'actions prévus à cet effet,
- du niveau de sollicitation du circuit primaire lors de la fusion du cœur,
- de l'état des systèmes pouvant permettre d'évacuer une partie de la puissance résiduelle hors de l'enceinte de confinement.

II.3.9 EXPLOITATION DES RESULTATS

II.3.9.1 RESULTATS ATTENDUS

L'EPS de référence fournit les fréquences des séquences menant à la fusion du cœur et les valeurs d'un certain nombre de grandeurs utiles à l'exploitation des résultats.

Pour chacun des états du réacteur, sont précisées les contributions des événements initiateurs et des familles d'accident, la fréquence horaire de fusion du cœur et la liste des séquences prépondérantes.

Pour compléter la présentation des fréquences des séquences prépondérantes, d'autres résultats peuvent être élaborés à l'aide des EPS. Par exemple, la détermination de certains facteurs d'importance^(*) permet de hiérarchiser les contributions des matériels ou des actions de conduite, ou permet d'évaluer la gravité de certaines défaillances.

Les résultats de l'EPS de référence ne se réduisent pas aux seuls résultats bruts fournis par les logiciels employés lors de la quantification. L'ensemble des résultats, et notamment ceux relatifs aux séquences prépondérantes, est accompagné d'un rappel des hypothèses principales et

d'une mise en évidence de leur effet sur les résultats. L'interprétation est notamment fondée sur les résultats d'études de sensibilité.

II.3.9.2 INCERTITUDES

Les principales incertitudes sont identifiées et l'impact de ces incertitudes sur les résultats est évalué de façon quantitative ou qualitative. Pour ce faire, plusieurs moyens peuvent être employés : calculs d'incertitudes, études de sensibilité aux données ou hypothèses ayant un impact important sur les résultats ou, au minimum, identification qualitative des sources majeures d'incertitudes.

L'identification et l'évaluation de ces incertitudes permettent de cibler les points sur lesquels il convient d'améliorer la précision des études.

Cette évaluation concerne non seulement le résultat global de l'étude, mais aussi les séquences prépondérantes et plus généralement chaque résultat utilisé dans le cadre d'une application.

Sont distinguées les incertitudes sur les résultats liées d'une part aux données quantitatives d'entrée, d'autre part aux simplifications et aux hypothèses.

Pour les incertitudes relatives aux données quantitatives d'entrée les plus importantes, la simulation de type Monte-Carlo⁽⁷⁾ permet de fournir une incertitude sur un résultat global.

Parmi les incertitudes engendrées par les simplifications et inhérentes aux hypothèses effectuées pour la modélisation et la quantification, peuvent être cités, de manière non exhaustive, les choix de regroupement des événements initiateurs, les choix de scénarios pour les calculs thermohydrauliques et neutroniques supports, les incertitudes sur les résultats de ces calculs, les incertitudes liées à la connaissance des phénomènes, les incertitudes liées à la modélisation des actions humaines, à la modélisation simplifiée et à l'estimation de la fiabilité des logiciels, à l'estimation de la fiabilité des équipements fonctionnant au-delà de leurs conditions de qualification, au choix des méthodes probabilistes. La variation des résultats en fonction des principales simplifications et hypothèses est appréciée en faisant appel à des études de sensibilité.

II.3.9.3 LIMITES DES EPS

En dépit d'une recherche systématique des scénarios accidentels, les EPS présentent des limites identifiées en termes d'exhaustivité. Le niveau d'exhaustivité est apprécié selon la complexité des modélisations, les difficultés associées à la quantification ainsi que par rapport à l'exploitation des résultats.

Les manques d'exhaustivité concernent par exemple :

- le domaine couvert (absence de traitement des agressions internes ou externes),
- le choix des interventions humaines traitées dans les EPS,
- la définition des familles de composants affectées par des défaillances de cause commune (les défaillances de cause commune affectant des composants appartenant à des systèmes différents n'étant pas systématiquement traitées).

L'impact du manque d'exhaustivité des études ne peut généralement pas être évalué quantitativement. Toutefois, son appréciation contribue à définir les limites du domaine d'utilisation des EPS.

II.3.9.4 PRECAUTIONS DANS L'UTILISATION DES RESULTATS DES EPS

Les incertitudes et les limites associées aux EPS impliquent certaines précautions lors de l'interprétation des résultats et de l'utilisation des EPS dans le processus de prise de décision.

Il importe avant tout de s'attacher à évaluer le caractère pertinent ou non de l'utilisation des EPS lors d'une prise de décision.

Il est à noter que l'état de l'art en matière de développement des EPS est en constante évolution et que cette évolution vise essentiellement à réduire les incertitudes et les limites de tous types. Lors des mises à jour, les EPS tiendront compte des évolutions de l'état de l'art.

II.3.10 DOCUMENTATION ET QUALITE

L'exploitant documente l'ensemble du contenu technique de l'étude afin d'en assurer la traçabilité et d'en permettre une analyse aisée. En particulier, les résultats de l'EPS de référence de même que les évaluations d'incertitudes et les études de sensibilité sont présentés de manière claire et lisible pour permettre une revue externe détaillée de l'étude.

Il convient que soient clairement décrits ou référencés :

- l'état de réalisation de l'installation, l'organisation de son exploitation et les autres éléments techniques ayant un impact sur l'étude,
- les sources d'information et les analyses nécessaires à l'établissement des hypothèses et des données,
- les méthodes retenues et notamment le processus utilisé pour le questionnement des experts et l'exploitation de leurs réponses.

L'exploitant applique son système qualité pour la réalisation d'une EPS de référence (en particulier pour ce qui concerne la revue des données d'entrée, la définition des données de sortie, l'élaboration des résultats, la revue de conception).

Ce système qualité doit répondre aux exigences de l'arrêté du 10 août 1984 relatif à la qualité de la conception, de la construction et de l'exploitation des installations nucléaires de base.

II.4 APPLICATIONS DES EPS

II.4.1 REEXAMEN DE SURETE

II.4.1.1 INTERET DE L'APPLICATION EN MATIERE DE SURETE

II.4.1.1.1 DEMARCHE GENERALE

La démarche de réexamen de sûreté, applicable aux réacteurs existants, est un processus périodique mis en œuvre pour un type de réacteurs donné, qui intègre l'expérience d'exploitation récente et l'évolution des connaissances.

Dans une première étape, la démarche de réexamen de sûreté vise à démontrer la conformité de « l'état de réalisation de référence » avec le « référentiel des exigences de sûreté ». Le « référentiel des exigences de sûreté » est constitué par l'ensemble des règles, critères et spécifications de sûreté applicables à un type de réacteurs tel qu'il résulte du rapport de sûreté. « L'état de réalisation de référence » est constitué par l'état de l'installation et de ses conditions d'exploitation. Les éventuels écarts constatés font l'objet d'une correction ou d'une justification.

Dans une seconde étape, une évaluation du référentiel des exigences de sûreté est réalisée. Elle repose sur une analyse de l'expérience d'exploitation nationale ou internationale ou sur des études particulières ainsi que sur l'examen des dispositions retenues sur les réacteurs les plus récents. Des corrections peuvent être apportées au référentiel des exigences de sûreté ; si nécessaire, l'état de réalisation de référence est modifié.

II.4.1.1.2 APPORT DES EPS

En application de la démarche générale, les EPS sont utilisées lors du réexamen de sûreté pour évaluer la fréquence de fusion du cœur et son évolution par rapport à l'évaluation faite à l'issue de l'examen précédent, en intégrant une analyse des modifications des caractéristiques des systèmes (fiabilité des matériels, par exemple) et des pratiques d'exploitation.

De plus, l'identification des principales contributions à la fréquence de fusion du cœur permet de mettre en évidence d'éventuels points faibles pour lesquels des évolutions tant de la conception que de l'exploitation peuvent être étudiées, voire jugées nécessaires. Leur hiérarchisation permet de cibler les efforts prioritaires.

II.4.1.2 METHODE

Lors de la première étape du réexamen de sûreté, l'EPS de référence est mise à jour en intégrant l'expérience d'exploitation la plus récente (identification et fréquence des initiateurs, données de fiabilité des matériels, profil de fonctionnement), l'état standard de réalisation (conception et exploitation) et les connaissances nouvelles sur le comportement de l'installation issues des études les plus récentes.

Pour mettre en évidence et hiérarchiser les principales contributions à la fréquence de fusion du cœur, une méthode acceptable consiste à procéder à un regroupement des séquences élémentaires présentant des caractéristiques fonctionnelles semblables en « séquences fonctionnelles », puis à évaluer le risque associé à ces dernières. La méthode de regroupement vise en priorité à constituer des « séquences fonctionnelles » dont la fréquence et les

conséquences pourraient être réduites par la mise en œuvre d'une même disposition afin d'identifier au mieux les opportunités d'améliorations.

Le domaine de couverture de l'EPS de référence ainsi que les regroupements en séquences fonctionnelles sont susceptibles d'évoluer à chaque réexamen de sûreté.

Suite au réexamen de sûreté, une nouvelle version de l'EPS de référence est réalisée en tenant compte des modifications décidées à l'issue du processus de réévaluation.

II.4.1.3 CONTRIBUTION DES EPS AU PROCESSUS DE DECISION

Pour le domaine de couverture considéré des EPS, l'évaluation de la fréquence globale de fusion du cœur est un élément qui permet d'apprécier l'évolution du niveau de sûreté par rapport à l'évaluation faite à l'issue de l'examen précédent.

Cette évaluation est complétée par une analyse des principales contributions à la fréquence de fusion du cœur (par exemple une analyse des séquences fonctionnelles prépondérantes) ; des seuils de sélection en termes de fréquence calculée de fusion du cœur peuvent être choisis à cet effet. L'analyse doit en particulier tenir compte de la fréquence des séquences, des conséquences possibles sur l'intégrité du confinement et des incertitudes.

Après examen des conservatismes éventuels de l'EPS, cette analyse débouche soit sur un statu quo soit sur l'intérêt de mettre en œuvre des modifications de la conception ou de l'exploitation. Dans le cas où des modifications seraient retenues, les EPS permettent d'apprécier les avantages et inconvénients des diverses solutions pressenties. La démonstration du caractère satisfaisant de ces modifications doit être apportée par une analyse de leur impact sur les contributions à la fréquence de fusion du cœur et sur la fréquence globale de fusion du cœur.

II.4.2 ANALYSE PROBABILISTE DES EVENEMENTS

II.4.2.1 INTERET DE L'APPLICATION EN MATIERE DE SURETE

L'application s'inscrit dans le processus global d'analyse de l'expérience d'exploitation dont un des objectifs principaux est de limiter la fréquence des événements significatifs pour la sûreté. Les méthodes classiques d'analyse des causes des événements permettent principalement de définir des mesures correctives afin de répondre à cet objectif.

De plus, un des principes de l'analyse de l'expérience d'exploitation est que les événements doivent faire l'objet d'un traitement adapté à leur gravité en termes de conséquences réelles ou possibles. La plupart des événements analysés ayant des conséquences réelles faibles voire nulles, il est important de disposer d'outils d'analyse des conséquences possibles de ces événements afin d'identifier les événements qui, dans des circonstances moins favorables ou suite à des cumuls d'autres défaillances, pourraient conduire à la fusion du cœur ou à des rejets importants et de définir des priorités pour la mise en œuvre des mesures correctives décidées dans le cadre de l'analyse de l'expérience d'exploitation.

L'intérêt de l'approche probabiliste est principalement de deux ordres :

- l'analyse des conséquences possibles repose sur une investigation aussi systématique et réaliste que possible des scénarios de dégradation, ce qui conduit à une plus grande exhaustivité des situations étudiées,
- l'évaluation probabiliste fournit de plus des informations quantitatives sur la probabilité de ces scénarios.

Les objectifs principaux de l'analyse probabiliste des événements sont la hiérarchisation des événements en fonction de la probabilité conditionnelle de fusion du cœur et l'évaluation de la pertinence des actions correctives.

A ces objectifs principaux s'ajoutent deux autres objectifs qui sont l'enrichissement de la culture de sûreté de l'exploitant (vulgarisation des enseignements des EPS à partir de l'analyse d'événements survenus sur les sites) et l'amélioration des EPS (confrontation des modèles au déroulement d'événements réels).

II.4.2.2 METHODE

L'application consiste en l'évaluation qualitative et quantitative des conséquences possibles de certains événements qui se sont réellement produits, sélectionnés selon une méthode documentée et justifiée. Pour ces événements, l'analyse permet d'identifier les différents scénarios de dégradation possibles puis de quantifier leurs probabilités conditionnelles.

Dans le cas général, l'analyse est réalisée à partir des EPS de référence. Cependant, des études particulières peuvent être utilisées ou développées afin de tenir compte des spécificités de l'événement (par exemple, indisponibilités prolongées de matériels nécessitant le développement d'un modèle adapté au traitement des réparations).

Tous les événements ne sont pas facilement analysables avec les EPS de référence ou avec des études particulières, par exemple :

- les événements où interviennent des sorties du domaine de fonctionnement ou des dépassements de limites de certains paramètres physiques mentionnés dans les spécifications techniques d'exploitation pour lesquels l'utilisation des EPS serait inadaptée,
- certaines dégradations de matériels sans défaillance critique pour lesquelles la quantification serait trop incertaine.

Pour les événements analysés, une description détaillée et un examen complet des conséquences réelles de l'événement permettent d'identifier les dégradations, les défaillances et les actions inappropriées qui se sont effectivement produites. Puis les conséquences possibles de l'événement sont analysées à partir des séquences accidentelles modélisées dans les EPS.

L'évaluation probabiliste conduit au calcul d'une probabilité conditionnelle de fusion du cœur dans les conditions de l'événement. Cette probabilité constitue une « mesure » de l'écart séparant l'événement réel de la fusion du cœur.

L'analyse se développe selon deux directions possibles (éventuellement combinées), en fonction du type d'événement à analyser :

- pour les événements de type « initiateur », l'analyse consiste en une évaluation de la probabilité de défaillance des lignes de défense permettant de limiter les conséquences de l'événement,
- pour les événements du type « dégradation d'une ligne de défense », l'analyse consiste en une évaluation de la probabilité de l'ensemble des scénarios faisant appel à cette ligne de défense.

Les résultats quantitatifs ainsi obtenus doivent être interprétés avec précaution, en raison des incertitudes associées. Celles-ci sont de deux sortes :

- les incertitudes liées aux données et aux hypothèses des EPS (cf. § II.3.9.2),
- les incertitudes propres à l'analyse des événements, par exemple la pertinence des hypothèses des EPS dans une situation incidentelle particulière.

En conséquence, toute analyse est accompagnée de l'identification des hypothèses principales de modélisation et comporte un volet apportant un éclairage sur la « robustesse » de l'analyse. Celui-ci peut comporter une étude de sensibilité sur les hypothèses ayant un impact important sur le résultat.

Bien que, dans le cas général, la conséquence envisagée soit la fusion du cœur, des conséquences spécifiques (par exemple, redivergence) peuvent être évaluées, ce qui peut nécessiter l'utilisation ou le développement d'études particulières.

II.4.2.3 CONTRIBUTION DES EPS AU PROCESSUS DE DECISION

Lorsque la probabilité conditionnelle de fusion du cœur correspondant à un événement est supérieure à une valeur repère fixée, cet événement est appelé « événement précurseur » et il fait l'objet d'une analyse approfondie.

Pour les événements précurseurs les plus importants, l'exploitant définit un traitement spécifique et des délais de mise en œuvre des mesures correctives. Le gain attendu est si possible évalué.

Les résultats obtenus ne sont pas utilisés seuls : ils ne constituent qu'un des éléments contribuant à la prise de décision de mettre en œuvre une mesure corrective.

II.4.3 CONCEPTION DES FUTURS REACTEURS

II.4.3.1 INTERET DE L'APPLICATION EN MATIERE DE SURETE

Comme pour les réacteurs en exploitation, la démonstration de la sûreté de la conception des futurs réacteurs est fondée sur des études déterministes. Pour les nouvelles générations de

réacteurs, les EPS sont utilisées de façon complémentaire en phase de conception dans l'évaluation de sûreté.

Les apports de ces évaluations sont notamment les suivants :

- une aide à la conception des systèmes de sûreté, notamment en termes de redondance et de diversification,
- la vérification d'une conception équilibrée de la sûreté du réacteur liée à l'absence de scénarios ayant une contribution largement dominante à la fréquence de fusion du cœur,
- l'appréciation des écarts par rapport aux exigences de sûreté appliquées aux réacteurs en exploitation,
- la comparaison du niveau de sûreté du futur réacteur par rapport aux réacteurs en exploitation ou à d'autres réacteurs en développement,
- une aide à la définition des conditions de fonctionnement relatives aux défaillances multiples,
- l'évaluation préliminaire du gain vis-à-vis de la sûreté apporté par des dispositions prévues en cas d'accident grave,
- la participation à la démonstration que les séquences menant à des rejets importants et précoces sont pratiquement éliminées.

II.4.3.2 METHODE

Lors de la conception des futurs réacteurs, les EPS sont développées par étapes successives tout au long du cycle de développement du réacteur : elles sont enrichies au fur et à mesure de l'avancement des études de conception.

En phase de conception, une EPS de référence couvre au minimum l'ensemble des situations accidentelles d'origine interne qui, au vu des EPS menées sur les réacteurs en exploitation, sont considérées comme importantes pour la sûreté.

Une extension de son domaine de couverture peut fournir une évaluation de la fréquence des séquences menant à la fusion du cœur avec un éclairage des conséquences possibles des différentes situations de fusion du cœur sur la fonction de confinement.

Les méthodes acceptables pour la réalisation de ces EPS sont celles décrites au § II.3. Les principales spécificités sont les suivantes :

- les analyses fonctionnelles des scénarios accidentels sont limitées par le niveau de détail des informations disponibles sur le comportement de l'installation et sur l'évolution des paramètres physiques,
- le profil de fonctionnement du réacteur est estimé à partir d'études prévisionnelles des arrêts du réacteur, programmés et fortuits,

- en l'absence de connaissance précise des matériels qui seront installés, la base de données de fiabilité est élaborée à partir de données issues de l'expérience d'exploitation pour des composants similaires ou de données internationales,
- de même, des données forfaitaires de défaillances de cause commune sont utilisées dans l'EPS, sauf si des données spécifiques sont disponibles,
- en l'absence de connaissance précise de la conduite accidentelle (procédures, interface homme-machine, organisation des équipes), l'analyse probabiliste de la fiabilité humaine est menée de façon simplifiée ; elle peut notamment s'appuyer sur des modèles prévisionnels internationaux,
- en l'absence de programme détaillé de maintenance, les indisponibilités des matériels dues aux opérations de maintenance préventive peuvent être traitées dans l'EPS de référence de manière forfaitaire. Des études particulières de sensibilité sont alors menées pour évaluer l'impact des activités de maintenance sur les résultats.

Ces spécificités induisent de fortes incertitudes sur les résultats des EPS. Les méthodes applicables pour l'évaluation des incertitudes sont décrites au § II.3.9.2.

II.4.3.3 CONTRIBUTION DES EPS AU PROCESSUS DE DECISION

L'évaluation de la fréquence globale de fusion du cœur est un élément qui permet d'apprécier le niveau de sûreté de la conception et notamment le gain par rapport aux réacteurs en exploitation. Des valeurs repères sont utilisées pour analyser les résultats des EPS ; elles doivent être considérées comme des ordres de grandeur et ne pas être les seuls éléments d'appréciation des résultats.

Les analyses qualitatives et quantitatives des principales contributions permettent notamment :

- d'identifier des dispositions complémentaires au dimensionnement déterministe pour réduire la fréquence de certaines séquences fonctionnelles et pour en limiter les conséquences vis-à-vis de la perte de la fonction de confinement,
- d'aider à la définition d'exigences particulières qui permettent d'atteindre un niveau de fiabilité suffisant pour les équipements les plus importants,
- de contribuer à la conception des procédures de conduite et à la formation des opérateurs en tenant compte des actions de conduite dont l'échec peut entraîner une augmentation importante de la fréquence de fusion du cœur.

II.4.4 IMPORTANCE VIS-A-VIS DE LA SURETE DES SYSTEMES ET DES MATERIELS

II.4.4.1 INTERET DE L'APPLICATION EN MATIERE DE SURETE

Les EPS constituent un élément, parmi d'autres, utilisé pour identifier :

- les systèmes jouant un rôle important vis-à-vis de la sûreté. C'est pour ces systèmes que l'amélioration de l'exploitation peut apporter a priori les gains en sûreté les plus importants et doit permettre de maintenir leur fiabilité à un niveau suffisant,

- les modes de défaillance critiques de matériels. Ce sont les modes de défaillance dont l'occurrence pourrait avoir des conséquences pour la sûreté de l'installation et dont il convient de limiter la fréquence.

Cette démarche peut notamment être utilisée lors la définition des spécifications techniques d'exploitation, des essais périodiques ou des programmes de maintenance des matériels.

II.4.4.2 METHODE

II.4.4.2.1 IDENTIFICATION DES SYSTEMES JOUANT UN ROLE IMPORTANT VIS-A-VIS DE LA SURETE

L'identification, à l'aide des EPS, des systèmes jouant un rôle important vis-à-vis de la sûreté se fait en évaluant leur contribution à la fréquence de fusion de cœur (importance relative des séquences accidentelles dans lesquelles le système intervient).

II.4.4.2.2 IDENTIFICATION DES MODES DE DEFAILLANCE CRITIQUES VIS-A-VIS DE LA SURETE

Pour identifier et hiérarchiser les modes de défaillance des matériels considérés dans les scénarios conduisant à la fusion du cœur, deux facteurs d'importance sont généralement utilisés : le « Facteur de Diminution de Risque » (FDR) et le « Facteur d'Augmentation de Risque » (FAR).

Le facteur de diminution de risque correspond à la diminution relative de la fréquence de fusion de cœur en considérant la probabilité du mode de défaillance réduite à 0.

Le facteur d'augmentation de risque correspond à l'augmentation relative de la fréquence de fusion de cœur en considérant la défaillance du matériel certaine.

Ces deux facteurs d'importance sont complémentaires. Le premier (FDR) est directement fonction de la fiabilité du matériel ; il permet d'évaluer la contribution du mode de défaillance à la fréquence de fusion de cœur. Le second (FAR) mesure l'importance de la fonction remplie par le matériel. Il permet d'identifier des matériels jouant un rôle important vis-à-vis de la sûreté, même si le taux de défaillance de ces matériels est très faible.

II.4.4.3 CONTRIBUTION DES EPS AU PROCESSUS DE DECISION

Les EPS constituent un élément d'aide à la décision pour évaluer l'importance pour la sûreté des systèmes et des matériels.

Selon le type d'utilisation, des seuils peuvent être définis pour notamment identifier :

- les systèmes jouant un rôle important vis-à-vis de la sûreté en fonction de leur contribution à la fréquence de fusion de cœur,
- les modes critiques de défaillance de matériels.

II.4.5 SPECIFICATIONS TECHNIQUES D'EXPLOITATION

II.4.5.1 INTERET DE L'APPLICATION EN MATIERE DE SURETE

II.4.5.1.1 DEMARCHE GENERALE

L'objectif général des spécifications techniques d'exploitation est de définir les règles minimales qui doivent être observées pendant l'exploitation normale du réacteur afin de maintenir le réacteur dans le domaine couvert par les études du rapport de sûreté.

Elles ont ainsi pour rôle de :

- définir les limites du fonctionnement normal de l'installation afin de rester à l'intérieur des hypothèses de conception et de dimensionnement du réacteur,
- requérir, en fonction de l'état du réacteur considéré, la disponibilité des systèmes ou matériels nécessaires à l'accomplissement des fonctions de sûreté indispensables au contrôle, à la protection, à la sauvegarde des barrières ainsi qu'à l'opérabilité des procédures de conduite incidentelles ou accidentelles,
- prescrire une conduite à tenir en cas d'indisponibilité d'un système ou matériel requis ou de dépassement d'une limite de fonctionnement normal, qui, suivant les cas, peut consister à imposer un délai maximum de réparation dans l'état du réacteur dans lequel est survenue l'indisponibilité, ou à borner le temps autorisé de maintien du réacteur en l'état avant de passer dans un état appelé « état de repli », qui est un état du réacteur dans lequel soit le matériel n'est plus requis, soit l'indisponibilité du matériel est jugée de moindre impact sur la sûreté du réacteur.

II.4.5.1.2 APPORT DES EPS

Pour la définition des systèmes et matériels requis au titre des spécifications techniques d'exploitation, l'approche probabiliste peut être utilisée afin de vérifier les dispositions retenues pour l'exploitation.

Les EPS permettent d'apporter un éclairage quant à la meilleure conduite à tenir en cas d'indisponibilité d'un matériel requis dans les spécifications techniques d'exploitation et de hiérarchiser les prescriptions compte tenu de l'importance pour la sûreté des indisponibilités postulées.

Elles permettent d'évaluer l'augmentation de la fréquence de fusion du cœur pour tous les états du réacteur, compte tenu de la (ou des) indisponibilité(s) considérée(s), ainsi que durant les transitoires de passage d'un état à un autre.

Les EPS peuvent également être utilisées par l'exploitant lorsqu'il demande l'autorisation de réaliser une intervention particulière et/ou de fonctionner dans un état du réacteur non conforme aux spécifications techniques d'exploitation, pour justifier que l'augmentation de la fréquence de fusion du cœur induite est limitée, en tenant compte des éventuelles mesures palliatives qu'il compte mettre en œuvre.

II.4.5.2 METHODE

La méthode consiste à évaluer l'augmentation de la fréquence de fusion du cœur en supposant le ou les matériels étudiés indisponibles.

Il convient de vérifier que, dans l'EPS de référence, l'analyse fonctionnelle et la modélisation retenue dans les différents états du réacteur sont suffisamment homogènes pour les besoins de l'application. En effet, certaines simplifications qui ont été faites dans le modèle de référence peuvent s'avérer non pertinentes pour l'application considérée. Le cas échéant, il pourra s'avérer nécessaire de développer des études particulières.

II.4.5.3 CONTRIBUTION DES EPS AU PROCESSUS DE DECISION

L'intérêt de requérir, dans les spécifications techniques d'exploitation, pour un état du réacteur donné, la disponibilité d'un matériel, peut être apprécié sur la base de l'augmentation de la fréquence de fusion du cœur en considérant le ou les matériels indisponibles sur toute la durée de l'état. D'autres éléments sont néanmoins à considérer dans la prise de décision, tels que la nécessité de pouvoir procéder, dans certains états du réacteur, à la maintenance du matériel.

Les évaluations probabilistes doivent être considérées comme des orientations. Ainsi, la détermination des délais maximums de réparation, des délais et états de repli doit également tenir compte de certains impératifs de maintenance et d'exploitation tels que le délai nécessaire pour engager et réaliser les travaux de réparation dans de bonnes conditions. Il convient, par ailleurs, d'éviter dans les spécifications techniques d'exploitation, des durées d'indisponibilité de matériels qui seraient très longues alors que les matériels peuvent être réparés dans des délais beaucoup plus courts.

Pour ce qui concerne les demandes de dérogation aux spécifications techniques d'exploitation, l'exploitant doit justifier que, compte tenu des conditions liées aux interventions et notamment de la mise en œuvre d'éventuelles mesures palliatives, l'augmentation de la fréquence de fusion du cœur induite est faible ; une valeur repère est utilisée comme critère d'appréciation.

GLOSSAIRE

Agression externe

Agression interne

AMDE

Arbre de défaillance

Arbre d'événements

Avis d'expert

Conditions de fonctionnement conventionnelles

Critère de succès

Défaillances de cause commune

État standard

Événement initiateur

Facteur d'importance

Fonction de sûreté

Fusion du cœur

Graphe d'états

Mode de défaillance

Restauration

Séquence accidentelle

Simulation de Monte-Carlo

Système support

Agression externe

Événement d'origine externe à l'installation, soit naturel, soit lié à l'activité industrielle ou humaine, susceptible d'avoir des effets sur la sûreté des centrales nucléaires comme le séisme, les conditions météorologiques extrêmes, les explosions, les chutes d'avions.

Agression interne

Événement d'origine interne à l'installation susceptible d'avoir des effets sur la sûreté des centrales nucléaires comme l'incendie ou l'inondation interne.

AMDE (Analyse des Modes de défaillance et de leurs effets)

L'AMDE est une méthode qualitative d'analyse de système utilisée pour l'étude systématique des causes et des modes de défaillances qui peuvent affecter les composants de ce système.

L'AMDE permet notamment d'identifier tous les modes de défaillance des composants d'un système et d'évaluer les effets de chacun de ces modes de défaillance sur les différentes fonctions de ce système et des systèmes environnants.

Les résultats de l'analyse sont présentés sous forme de tableaux.

Arbre de défaillance

La méthode de l'arbre de défaillance est une méthode déductive qui a pour objectif de déterminer toutes les combinaisons possibles d'événements entraînant l'apparition d'un événement indésirable unique. Ces différentes combinaisons sont représentées au moyen d'une structure arborescente (portes logiques ET, OU, ...). Cette démarche déductive est poursuivie jusqu'à l'obtention d'événements de base, obligatoirement indépendants entre eux et dont on peut estimer la probabilité d'occurrence (ex : défaillances de matériels, erreurs humaines...).

Arbre d'événements

La méthode de l'arbre d'événements est une méthode inductive consistant à envisager, de manière systématique, pour un événement initiateur, le succès ou l'échec des systèmes et actions de conduite mis en oeuvre pour arrêter la progression de l'incident ou de l'accident.

Un arbre d'événements est un schéma logique permettant de définir les séquences accidentelles. Chaque branche de l'arbre d'événements est constituée de combinaisons de succès ou d'échec des systèmes et actions de conduite et correspond à une séquence accidentelle.

Avis d'expert

Opinion d'une personne choisie en raison de ses compétences, son expérience, sa sûreté de jugement et son indépendance sur un problème technique.

Dans le cas considéré, le recours à un avis d'expert concerne souvent l'attribution d'une probabilité ou d'une distribution de probabilité à un événement pour lequel il n'existe pas de statistique directe.

Conditions de fonctionnement conventionnelles

On désigne sous le terme « conditions de fonctionnement conventionnelles » les événements initiateurs des séquences incidentelles ou accidentelles retenues pour dimensionner les bâtiments et les systèmes et équipements nécessaires à l'accomplissement des fonctions de sûreté.

Ces conditions de fonctionnement conventionnelles sont enveloppes, en termes de conséquences ou de sollicitations induites, d'un certain nombre d'événements initiateurs. La liste des conditions de fonctionnement conventionnelles est présentée par l'exploitant dans le rapport de sûreté et ainsi soumise à l'approbation de l'administration.

Critère de succès

Chaque mission de système ou de conduite prise en compte dans l'étude est caractérisée par un critère de succès.

Dans le cas d'une mission de système, le critère de succès traduit le respect d'exigences fonctionnelles qui s'expriment généralement en termes de configuration, de nombre de trains nécessaires pour assurer la fonction, de valeurs requises de paramètres physiques, de délai pendant lequel la fonction doit être assurée.

Dans le cas d'une mission de conduite, le succès correspond, dans la plupart des cas, à la réalisation d'une action appropriée dans un délai donné. L'échec d'une mission de conduite peut également correspondre à la réalisation d'une action inopportune.

Les critères de succès sont généralement déduits de résultats de calculs thermohydrauliques et neutroniques.

Défaillances de cause commune

Les défaillances de cause commune sont des défaillances pouvant affecter simultanément, ou pendant la durée de la mission, plusieurs composants et qui ont la même cause, par exemple une erreur de conception, de fabrication, d'installation ou de montage, une erreur de maintenance, ou un effet de l'environnement.

Les conséquences des défaillances des systèmes supports (alimentations électriques, air comprimé, source froide...), les défaillances liées à une mauvaise configuration de matériels et les agressions internes ou externes entraînant la défaillance de plusieurs équipements n'entrent pas dans cette appellation.

État standard

Un état standard de la chaudière est défini par une combinaison de conditions sur le niveau de puissance du réacteur, la réactivité et les moyens de la contrôler, la pression et la température moyenne du circuit primaire.

Événement initiateur

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

Facteur d'importance

Indicateur qui mesure l'impact de la variation de la probabilité d'un événement élémentaire (exemples : mode de défaillance d'un composant, action de conduite) sur la fréquence de l'événement redouté.

Deux facteurs d'importance sont généralement utilisés : le « Facteur de Diminution de Risque » (FDR) et le « Facteur d'Augmentation de Risque » (FAR).

Le facteur de diminution de risque correspond à la diminution relative de la fréquence de fusion de cœur en considérant la probabilité du mode de défaillance réduite à 0.

Le facteur d'augmentation de risque correspond à l'augmentation relative de la fréquence de fusion de cœur en considérant la défaillance du matériel certaine.

Ces deux facteurs d'importance sont complémentaires. Le premier (FDR) est directement fonction de la fiabilité du matériel ; il permet d'évaluer la contribution du mode de défaillance à la fréquence de fusion de cœur. Le second (FAR) mesure l'importance de la fonction remplie par le matériel. Il permet d'identifier des matériels jouant un rôle important vis-à-vis de la sûreté, même si le taux de défaillance de ces matériels est très faible.

Fonction de sûreté

Le terme fonction de sûreté regroupe les matériels et systèmes mis en oeuvre pour éviter la dégradation des barrières ou limiter les conséquences de leur détérioration. On distingue les fonctions de sûreté réactivité, refroidissement, confinement et les fonctions support.

Fusion du cœur

La fusion du cœur est la situation d'échec retenue dans les EPS de niveau 1. Néanmoins, en pratique, la fusion du cœur est remplacée par des critères de découplage introduits afin de simplifier l'étude. Peuvent par exemple être cités le découvrement prolongé des assemblages combustibles sans possibilité de restaurer durablement l'inventaire en eau, des sollicitations de la cuve au-delà des conditions de sa tenue, l'injection dans le cœur d'un volume critique d'eau non suffisamment borée, une température maximale de gaine.

Graphe d'états

La méthode des graphes d'états est une méthode inductive qui a pour objectif de construire un diagramme logique montrant les états de fonctionnement et de panne d'un système, ainsi que les transitions entre ces états, dues à des défaillances ou des réparations du système.

Lorsque les taux de transition sont constants, le processus est dit markovien (graphe de Markov).

Mode de défaillance

Un mode de défaillance est défini comme l'effet par lequel une défaillance est observée sur un élément du système.

Restauration

La restauration d'un événement initiateur, d'un système ou d'une fonction correspond à :

- la réparation d'un composant dont la défaillance concourt à l'événement initiateur, à la défaillance du système, à la perte de la fonction considérée,
- la mise en oeuvre d'une stratégie palliative (par exemple mise en place d'un système qui permet de remplacer la fonction perdue).

Séquence accidentelle

Une séquence accidentelle est une succession d'événements commençant par un événement initiateur suivi d'événements correspondant à l'échec ou au succès de missions de systèmes et de conduite.

Une séquence accidentelle peut conduire soit à une situation de succès (maîtrise durable des fonctions de sûreté) soit à une situation d'échec (atteinte d'une conséquence redoutée).

Simulation de Monte-Carlo

Méthode numérique, fondée sur la simulation d'histoires du système : on effectue des tirages aléatoires des paramètres d'entrée du modèle du système, puis une résolution de ce modèle pour chaque tirage et enfin des traitements statistiques sur l'ensemble des résultats ainsi obtenus. La méthode de Monte-Carlo est utilisée dans deux cas : pour mesurer l'incertitude sur les résultats liée aux données d'entrée des modèles de fiabilité et pour résoudre certains modèles fiabilistes trop complexes pour une résolution analytique (par exemple : lois de probabilité quelconques ou critères de succès complexes).

Système support

Sur le plan fonctionnel, système n'assurant pas directement une fonction de sûreté ou de sauvegarde mais sans lequel elle ne peut pas être accomplie.

Sont communément rangés dans cette catégorie : les alimentations électriques de puissance, le système de refroidissement intermédiaire, l'air comprimé, les ventilations.