

RAPPORT DE SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION PROBABILISTE DE SÛRETÉ relative au risque d'incendie pour les réacteurs de 900 MWe

François CORENWINDER

Bureau d'études probabilistes de sûreté

Véronique BERTRAND

Bureau d'évaluation de la conception et du fonctionnement des systèmes

L'approche probabiliste vise à évaluer la probabilité d'occurrence de situations recouvrant des événements complexes, notamment liés à la perte des systèmes redondants et à des agressions externes ou internes comme l'incendie. Elle intègre aussi bien les défaillances d'origine matérielle que d'origine humaine ou organisationnelle. L'évaluation probabiliste de sûreté relative au risque d'incendie pour les tranches REP de 900 MWe (EPS incendie 900 MWe) vise à conforter et à compléter l'analyse déterministe qui est à la base de la définition des dispositions de protection contre l'incendie.

D'éventuels points faibles dans la conception, l'exploitation ou la maintenance des installations peuvent ainsi être mis en évidence.

Une première version de l'EPS incendie 900 MWe a été achevée en 2003. Cette version a ensuite évolué jusqu'à la version actuelle, dite « de référence », qui intègre :

- les modifications décidées dans le cadre du réexamen de sûreté associé aux troisièmes visites décennales des tranches du palier 900 MWe ;
- la conduite incidentelle et accidentelle de type approche par états (APE), mise en place entre 1990 et 2003 sur le parc électro-nucléaire français. Par rapport à l'ancienne approche dite « événementielle », fondée sur des stratégies de conduite prédéterminées choisies en fonction du diagnostic initial, l'APE permet d'appliquer des stratégies itératives élaborées en fonction de l'état physique et thermohydraulique de la chaudière nucléaire ;
- les dispositions mises en œuvre dans le cadre du Plan d'actions incendie (PAI), déployé sur les tranches REP entre 1997 et 2007, en vue d'améliorer la protection contre l'incendie des installations (démarche déterministe).

Objectifs

L'objectif assigné à l'EPS incendie 900 MWe est double. D'une part, l'étude doit fournir une hiérarchisation des locaux de l'îlot nucléaire en termes de contribution au risque de fusion du cœur (EPS de niveau 1) en cas d'incendie. D'autre part, elle doit procurer un outil probabiliste pour tout type d'expertise lié aux risques d'incendie dans les réacteurs de 900 MWe.

Pour répondre au premier objectif, la démarche utilisée pour l'EPS incendie 900 MWe a consisté à identifier les scénarios accidentels susceptibles de se produire à la suite d'un incendie (scénarios d'endommagement des équipements et des câbles électriques qui participent à la conduite du réacteur), puis à évaluer la fréquence de fusion du cœur qui en résulte. L'IRSN a alors analysé les principales contributions à la fréquence de fusion du cœur et évalué les dispositions de conception et d'exploitation mises en œuvre par l'exploitant à l'égard du risque d'incendie.

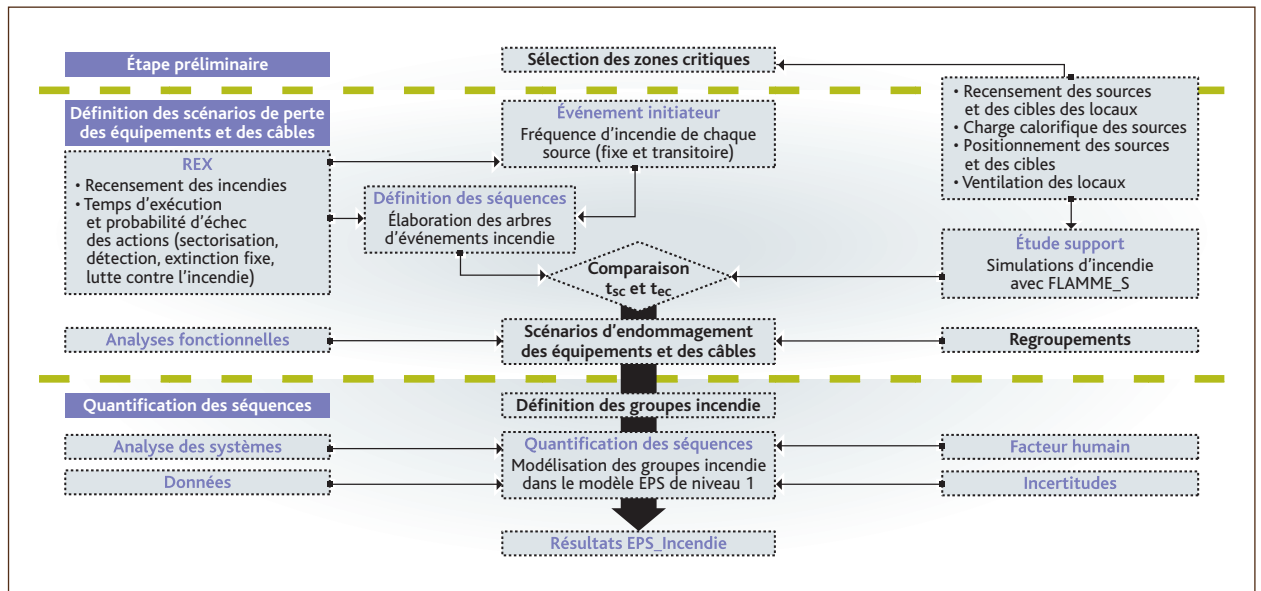


Figure 1 Démarche générale de réalisation de l'EPS incendie 900 MWe.

Pour ce qui concerne le second objectif, l'IRSN a cherché à réaliser une étude fine et exhaustive applicable à l'ensemble des locaux, afin de permettre un large panel d'évaluations de sûreté, telles que l'analyse des incidents ou les demandes de dérogations formulées par l'exploitant pour le palier 900 MWe.

Tranche nucléaire de référence et domaine de couverture

Le choix s'est porté sur la tranche n° 1 de la centrale du Blayais, qui a servi de référence à EDF pour la mise en œuvre du Plan d'action incendie. Les locaux étudiés dans le cadre de l'EPS incendie 900 MWe sont ceux abritant des composants (matériels ou câbles) importants pour la sûreté. Ainsi, 826 locaux répartis dans 10 bâtiments ont été initialement sélectionnés.

À la suite des conclusions de la version de 2003 de l'EPS incendie 900 MWe, la version actuelle de référence se limite à l'étude des états du réacteur pour lesquels le circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt n'est pas connecté au circuit primaire, c'est-à-dire approximativement des états de fonctionnement en puissance du réacteur, largement prépondérants en termes de fréquence de fusion du cœur. De même, le bâtiment du réacteur n'a pas été étudié car le risque d'incendie y survient essentiellement pendant les périodes de maintenance, lorsque le réacteur est à l'arrêt.

En outre, la salle de commande a fait l'objet d'une étude spécifique non intégrée à l'EPS incendie 900 MWe de référence.

Méthodes

Méthode de sélection des zones critiques

La première étape de l'EPS incendie 900 MWe consiste à sélectionner, parmi les 826 locaux étudiés, les locaux les plus sensibles vis-à-vis du risque d'incendie, afin d'en faire une analyse plus approfondie. Pour cela, les 826 locaux initialement retenus sont regroupés par zones dans lesquelles un incendie pourrait être initié et se propager (pas de protection coupe-feu entre les locaux).

Parmi ces zones, pour lesquelles une analyse simplifiée des scénarios d'incendie pouvant conduire à la fusion du cœur est effectuée, ne sont ensuite retenues pour une étude détaillée que les zones dites « zones critiques », qui répondent aux critères suivants :

- une zone critique contient des équipements importants pour la sûreté ;
- la perte de l'ensemble des équipements d'une zone critique conduit à la perte partielle ou totale d'un équipement indispensable pour rallier l'état d'arrêt sûr ;
- une zone critique contribue à la probabilité globale de fusion du cœur de façon non négligeable.

L'application de cette démarche de sélection a permis de retenir 34 zones critiques, soit 57 locaux appelés « locaux critiques », pour l'étude détaillée.

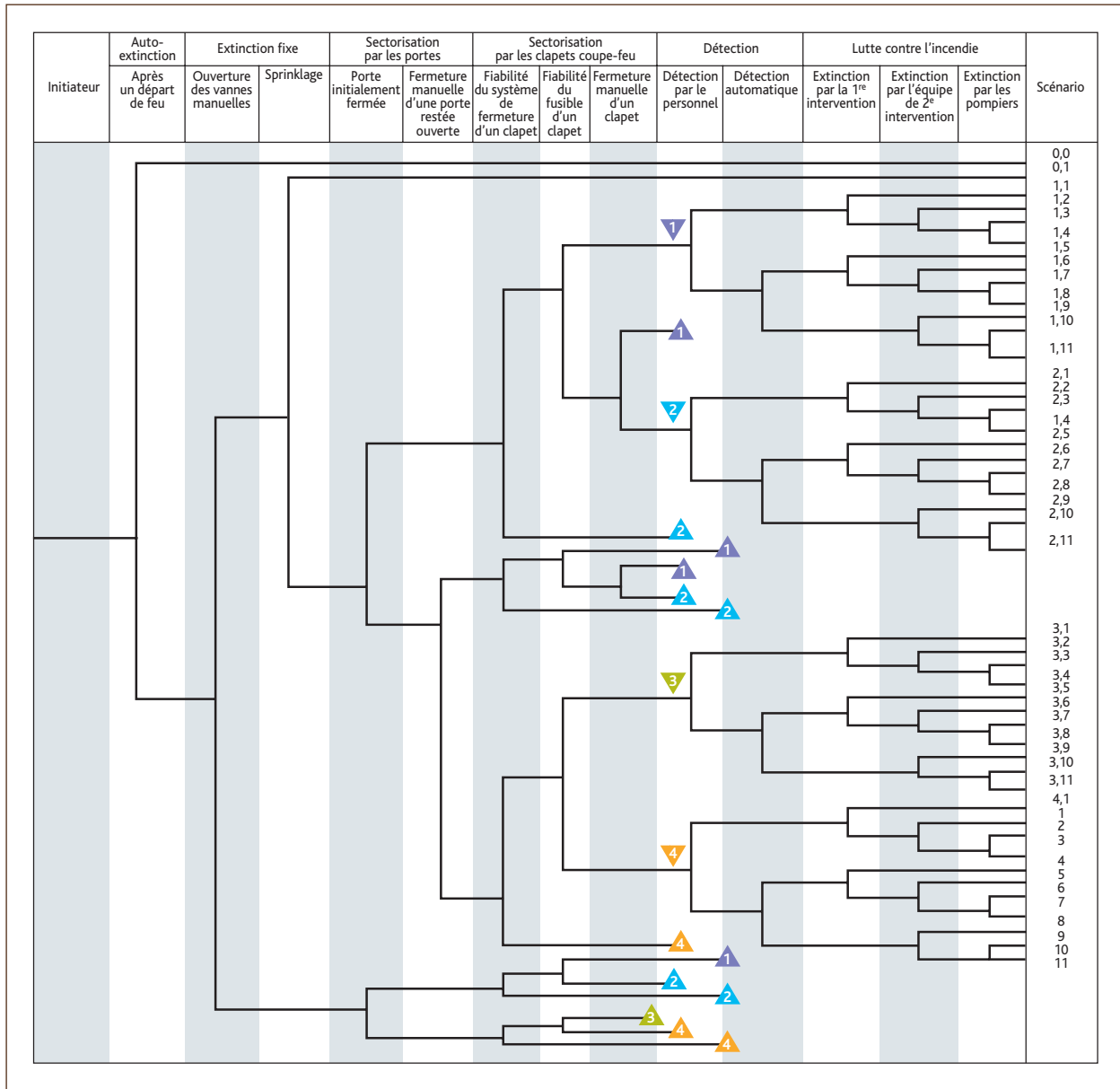


Figure 2 Arbre d'événements des scénarios d'incendie.

Étude détaillée des locaux critiques

L'évaluation probabiliste de sûreté relative à l'incendie pour les locaux identifiés comme critiques comporte deux grandes phases :

- l'évaluation des fréquences d'endommagement des équipements et des câbles électriques :
 - évaluation des fréquences d'incendie ;
 - élaboration et quantification des scénarios d'incendie ;
 - évaluation des délais avant endommagement des équipements et des câbles électriques ;
- l'évaluation de la fréquence de fusion du cœur :

- analyse des conséquences fonctionnelles engendrées par la perte d'équipements et de câbles électriques ;
- modélisation et quantification des séquences accidentelles consécutives à l'incendie menant à la fusion du cœur.

Un organigramme (figure 1) précise les différentes étapes de l'EPS incendie 900 MWe.

Évaluation des fréquences d'endommagement des équipements et des câbles électriques

■ Évaluation des fréquences d'incendie

L'évaluation des fréquences d'incendie repose sur l'analyse de l'expérience d'exploitation relative aux incendies survenus dans les réacteurs à eau sous pression (REP) français. 306 départs de feu ont été retenus pour le calcul des fréquences d'incendie. Ils sont classés suivant leur origine en cinq catégories : électrique, mécanique, hydrogène, travaux d'intervention et divers.

■ Élaboration et quantification des scénarios d'incendie

L'élaboration des scénarios d'incendie repose sur la construction et la quantification d'arbres d'événements. Les événements pris en compte sont les suivants :

- l'auto-extinction du feu ;
- l'extinction par les systèmes fixes d'aspersion ;
- la sectorisation :
 - par les portes ;
 - par les clapets coupe-feu ;
- la détection (automatique ou humaine) ;
- l'extinction à l'aide de dispositifs mobiles (personnel à proximité, équipe de première intervention, équipe de deuxième intervention, pompiers).

L'évaluation probabiliste de l'échec de ces événements est fondée sur l'expérience d'exploitation française des réacteurs à eau sous pression. La durée de chaque scénario d'incendie (délai nécessaire à l'extinction de l'incendie) est également issue de l'expérience d'exploitation et dépend des configurations de la détection et de l'extinction qui le caractérisent. La *figure 2* présente l'arbre d'événements des scénarios d'incendie.

■ Évaluation des délais avant endommagement d'équipements ou de câbles électriques

Une simulation d'incendie, réalisée avec le code à zone FLAMME_S développé par l'IRSN, permet de calculer l'évolution des températures ambiantes en fonction de l'état de la sectorisation et de la ventilation dans le local siège du départ de feu et dans les locaux en communication avec celui-ci (soit par des ouvertures, soit par le réseau de ventilation). Ces calculs sont exploités pour déterminer le délai avant endommagement (dysfonctionnement) des équipements et des câbles électriques du local et des locaux adjacents en cas de propagation. Ce délai correspond à l'instant du franchissement des critères de dysfonctionnement thermique suivants :

- pour les câbles électriques, la température de dysfonctionnement retenue est de 230 °C (essai PEPSI 1 cité en référence [Rapport LEF, 1998]) ;
- pour un équipement électrique, la température de dysfonction-

nement retenue est de 40 °C (température maximale de qualification spécifiée par le RCC_E).

■ Évaluation des fréquences d'endommagement des équipements et des câbles électriques

À l'issue des deux tâches précédentes, pour chaque scénario d'incendie, le délai avant endommagement (t_{ec}) est comparé à la durée du scénario d'incendie (t_{sc}). Lorsque le premier est inférieur au second, les équipements et les câbles électriques sont considérés endommagés et la fréquence associée à leur endommagement correspond à la fréquence du scénario d'incendie.

Évaluation de la fréquence de fusion du cœur

■ Analyse fonctionnelle

Pour chacun des scénarios d'endommagement d'équipements et de câbles électriques pouvant résulter d'un incendie dans les locaux critiques de l'EPS incendie 900 MWe, des analyses fonctionnelles sont réalisées afin d'identifier si la situation rencontrée correspond à une séquence accidentelle de l'EPS de niveau 1 « initiateur interne ».

Les analyses fonctionnelles permettent d'identifier :

- les principales conséquences fonctionnelles sur la tranche résultant directement de l'endommagement des équipements et/ou des câbles électriques ;
- les équipements disponibles en redondance des équipements perdus ;
- les alarmes et informations disponibles en salle de commande ;
- la conduite envisagée ou imposée par l'application des consignes sélectionnées par l'opérateur ou des spécifications techniques d'exploitation.

■ Modélisation et quantification des séquences accidentelles

La modélisation des séquences accidentelles de l'EPS incendie 900 MWe conduisant à la fusion du cœur repose sur celle de l'EPS de niveau 1 effectuée pour les événements d'origine interne.

De manière générale, les hypothèses de modélisation (hypothèses fonctionnelles et hypothèses thermohydrauliques) retenues pour l'EPS de niveau 1 « initiateur interne » ont été reconduites dans l'EPS incendie. Les modifications liées à l'incendie portent sur la prise en compte :

- de l'indisponibilité des équipements nécessaires à la gestion de l'accident lorsqu'ils sont détruits par le feu ou lorsque celui-ci a entraîné leur dysfonctionnement ;
- de facteurs aggravants dans la quantification des erreurs humaines afin de tenir compte des difficultés de conduite en cas d'incendie. Ces facteurs peuvent être :

- la difficulté à réaliser le diagnostic de la situation réelle de la tranche en cas d'absence d'informations ou d'apparition d'alarmes multiples en salle de commande ;
 - le stress supplémentaire lié à l'incendie ;
 - la difficulté à effectuer des actions en local (notamment dans des locaux proches du local où s'est déroulé l'incendie en raison des fumées).
- de la modification du temps de fonctionnement nécessaire (appelé « temps de mission ») de certains systèmes nécessaires pour la gestion de la situation accidentelle, compte tenu du fait que les délais de remise en fonctionnement des matériels détruits par l'incendie peuvent être importants.

Résultats de l'EPS incendie 900 MWe

L'étude réalisée par l'IRSN a montré l'importance du risque lié à l'incendie. Ainsi, la fréquence totale de fusion du cœur de l'EPS incendie 900 MWe représente un tiers de la fréquence de fusion du cœur de l'EPS de niveau 1 « initiateur interne » des REP de 900 MWe. Cette contribution importante de l'incendie est toutefois à nuancer. En effet, des hypothèses et des calculs volontairement pessimistes ont été retenus en l'absence de connaissances suffisantes, notamment pour ce qui concerne la modélisation de la combustion des différents équipements électriques et l'estimation de leurs températures de dysfonctionnement.

Les principaux résultats de l'étude sont les suivants :

- 12 locaux contribuent pour 99 % à la fréquence de fusion du cœur de l'EPS incendie 900 MWe. Il s'agit essentiellement de locaux

électriques contenant des équipements importants pour la sûreté, dont la perte est susceptible d'entraîner des situations accidentelles cumulées à une gestion difficile de la conduite de la tranche ;

- un local représente à lui seul 31 % de la fréquence de fusion du cœur de l'EPS incendie 900 MWe. Ce local est caractérisé par une fréquence d'incendie élevée du fait de la présence de nombreux tableaux électriques fournissant de nombreuses sources d'ignition. Les scénarios prépondérants conduisent à des situations de perte totale des alimentations électriques secourues.

Par ailleurs, l'étude réalisée par l'IRSN a permis de mesurer l'apport de la mise en œuvre du Plan d'actions incendie et de la conduite APE. En effet, par rapport à la première version de l'EPS incendie 900 MWe de 2003, la fréquence de fusion du cœur de la version actuelle de référence a diminué d'un facteur 7.

■ Conclusion

En définitive, malgré les modifications mises en œuvre sur les tranches REP d'EDF, la contribution du risque d'incendie à la fréquence totale de fusion du cœur reste élevée. D'ailleurs, à la suite du réexamen de sûreté associé aux troisièmes visites décennales des tranches REP de 900 MWe, EDF a reconnu l'importance du local prépondérant identifié par l'IRSN et s'est engagé à améliorer la protection des équipements de ce local. L'importance du risque d'incendie justifie la poursuite des actions de R&D à l'IRSN, tant du point des programmes expérimentaux que de la modélisation des phénomènes.

Références

- Rapport LEF EF.30.15.R/98.517, intitulé « PEPSI 1 (Programme étude probabiliste de sûreté incendie, essai n° 1) – Principaux résultats expérimentaux », de juin 1998.