

Synthèse du rapport de l'IRSN sur les Études probabilistes de sûreté de niveau 1 développées par EDF dans le cadre du réexamen de sûreté associé à la troisième visite décennale des réacteurs de 1300 MWe

En préambule, l'IRSN signale que les valeurs de probabilité de fusion du cœur citées dans ce texte sont un élément d'appréciation permettant de hiérarchiser les différentes séquences pouvant conduire à cette situation. Elles ne doivent pas être considérées comme des références absolues.

Les Etudes probabilistes de sûreté (EPS) contribuent à évaluer le niveau de sûreté des réacteurs. Elles permettent ainsi d'identifier d'éventuels points faibles nécessitant des modifications de conception ou d'exploitation. En particulier, les EPS dites de niveau 1 examinent les scénarios menant à la fusion du combustible (appelés « séquences de l'EPS ») et déterminent leur fréquence. Dans le cadre du réexamen de sûreté des réacteurs de 1300 MWe à l'occasion de leur troisième visite décennale (VD3 1300), l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a saisi l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) et le Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) afin de recueillir leurs avis sur les EPS de niveau 1 élaborées par EDF pour ses réacteurs de 1300 MWe.

Dans le cadre du réexamen de sûreté VD3 1300, EDF a développé plusieurs études EPS de niveau 1 :

- des EPS relatives aux événements internes à l'installation (défaillances intrinsèques d'équipements, erreurs humaines). Ces études évaluent le risque de fusion du combustible dans le réacteur (EPS « événements internes ») ainsi que le risque de découverture du combustible dans la piscine de désactivation du combustible (EPS « piscine BK ») ;
- des EPS « agressions » dans lesquelles les scénarios accidentels étudiés sont initiés par des agressions internes ou externes à l'installation : une EPS « incendie », une EPS « inondation interne » ainsi qu'une EPS « séisme » applicable au site de Saint-Alban. Ces trois études constituent les premières EPS « agressions » développées par EDF.

Le palier 1300 MWe regroupe deux ensembles de réacteurs, de conception similaire mais présentant quelques différences notamment en termes d'agencement des locaux, dénommés « train P4 » et « train P'4 ». Les EPS d'EDF ont en général été développées pour un seul de ces deux trains, EDF s'efforçant de démontrer qu'elles étaient enveloppe de l'autre train.

EDF a en outre étudié la faisabilité et l'intérêt de développer des EPS pour les conditions climatiques extrêmes et pour l'inondation externe.

L'analyse de l'IRSN a porté sur :

- les méthodes, hypothèses et données utilisées pour le développement de ces EPS ;

- les résultats et les enseignements des études (essentiellement pour les études dont les méthodes sont les plus éprouvées : EPS « événements internes » et « piscine BK »), notamment en termes d'intérêt de modifications à mettre en œuvre dans le cadre des VD3 1300.

Pour l'EPS séisme, l'étude de la faisabilité et de l'intérêt des EPS pour les conditions climatiques extrêmes ainsi que l'inondation externe, l'analyse s'est limitée, conformément à la saisine de l'ASN, à l'examen de la démarche présentée par EDF.

Pour son analyse, l'IRSN s'est appuyé sur ses propres EPS.

A l'issue de son analyse, l'IRSN a estimé nécessaire qu'EDF apporte des compléments à ses EPS et des justifications :

- soit à court terme, afin d'être en mesure de statuer sur le niveau de sûreté des réacteurs et les besoins éventuels de modifications complémentaires à mettre en œuvre dans le cadre du réexamen de sûreté VD3 1300 ;
- soit dans le cadre des prochaines EPS, afin d'accroître leur pertinence.

EPS « événements internes » et EPS « piscine BK »

EPS « événements internes »

L'étude d'EDF intègre un certain nombre d'évolutions par rapport à l'étude qui avait été examinée lors du réexamen précédent (VD2 1300), telles que la modélisation de systèmes de ventilation, la mise à jour des données de fiabilité des équipements et l'évaluation du facteur humain (FH).

La fréquence calculée de fusion du combustible est de $4,0 \cdot 10^{-06}$ /a.r (année.réacteur).

Lors de l'instruction, l'IRSN a émis un certain nombre de remarques sur les hypothèses fonctionnelles, les données utilisées (données de fiabilité, facteur humain), les résultats et enseignements de l'étude. Les principales conclusions de l'analyse de l'IRSN sont les suivantes :

- concernant les données de fiabilité utilisées dans l'EPS, l'IRSN a constaté que, pour certains matériels, les données ont été élaborées à partir d'un retour d'expérience (REX) antérieur à 2003 et n'ont pas été actualisées par EDF. EDF s'est alors engagé à mettre à jour certaines données importantes et à en évaluer l'impact dans le cadre du réexamen VD3 1300. Plus généralement, l'IRSN a recommandé qu'EDF mette en place un processus de vérification périodique de la représentativité, vis-à-vis du REX le plus récent, des données de fiabilité utilisées dans les EPS et de mise à jour des données de fiabilité jugées insuffisamment représentatives ;
- pour évaluer les missions relatives au FH, EDF a utilisé sa méthode d'évaluation probabiliste de la fiabilité humaine (EPFH) de référence : MERMOS¹. En s'appuyant sur son propre modèle EPFH, l'IRSN a examiné les missions FH ayant un impact potentiellement fort sur le classement par ordre de fréquence des séquences de l'EPS. L'IRSN a également analysé les valeurs issues de jugements d'expert et les justifications utilisées par EDF dans les quantifications MERMOS.

¹ Méthode d'évaluation de la réalisation des missions opérateurs pour la sûreté

L'IRSN a notamment mis en évidence que la probabilité d'échec de missions FH à mettre en œuvre en cas de perte totale des alimentations électriques a été sous-estimée par EDF, notamment la gestion en local du niveau d'eau dans les générateurs de vapeur ;

- concernant les enseignements apportés par l'examen des scénarios accidentels, l'IRSN a notamment estimé nécessaire que, dans le cadre du réexamen VD3 1300, EDF :
 - réalise une analyse plus approfondie des scénarios de fusion du combustible avec bipasse du confinement consécutifs à une rupture de la barrière thermique des pompes primaires ;
 - étudie des moyens pour fiabiliser la fonction d'étanchéité des joints des pompes primaires et pour faciliter le réglage de la turbopompe du circuit d'alimentation de secours des générateurs de vapeur en situation de perte totale des alimentations électriques ;
- l'IRSN a estimé nécessaire qu'EDF complète l'EPS par l'étude des initiateurs de perte des alimentations électriques externes et de perte de la source froide pouvant affecter de façon durable l'ensemble des installations du site (réacteurs et piscines BK), ce complément d'étude étant également un préalable au développement futur des EPS relatives aux conditions climatiques extrêmes.

EPS « piscine BK »

Deux types de séquences sont étudiés dans l'EPS « piscine BK » : les pertes de refroidissement de l'eau de la piscine et les vidanges rapides.

Pour les pertes de refroidissement, EDF conclut à une fréquence inférieure à 10^{-08} /a.r de découverture du combustible entreposé en piscine et ne juge donc pas nécessaire de mettre en œuvre des modifications matérielles ou d'exploitation.

Pour les vidanges rapides, EDF conclut à des fréquences faibles de découverture d'un assemblage combustible en cours de manutention (autour de 10^{-07} /a.r) ou du combustible entreposé (de quelques 10^{-08} /a.r). Sur cette base, EDF propose de mettre en œuvre, sur les réacteurs de 1300 MWe, des dispositions opératoires et des modifications matérielles analogues à celles retenues sur les réacteurs de 900 MWe dans le cadre du réexamen de sûreté VD3 900.

L'IRSN a analysé la pertinence des méthodes, hypothèses et données utilisées par EDF. Cette analyse a notamment mis en évidence qu'EDF devra compléter son EPS en :

- étudiant les séquences de vidange rapide non considérées dans l'étude pour le palier 1300 MWe mais ayant été jugés importantes dans l'EPS réalisée pour le palier 900 MWe (effacement d'une tige de générateur de vapeur, siphonage à la suite d'une erreur de lignage, vidange gravitaire par la liaison entre le système de refroidissement du réacteur à l'arrêt (RRA) et le système de traitement et de refroidissement de l'eau des piscines (PTR)) ;
- évaluant certaines séquences de perte de refroidissement non considérées (pertes électriques de longue durée, perte du tronçon commun des deux voies du système de refroidissement intermédiaire (RRI), défaillances de cause commune entre les deux voies de certains systèmes) ;

- prenant en compte des dépendances entre les événements initiateurs à l'origine des séquences de « perte de la source froide » et les appoints en eau valorisés dans celles-ci ;
- réévaluant les probabilités d'indisponibilité des systèmes modélisés.

L'IRSN a de plus estimé nécessaire qu'EDF transmette une étude de vulnérabilité aux agressions (incendie, explosion, inondation interne et séisme) des systèmes participant à la prévention d'un découlement du combustible entreposé ou manutentionné en piscine.

Au terme de l'instruction technique, EDF a annoncé un nombre conséquent d'actions visant à faire évoluer les EPS « événements internes » et « piscine BK ». EDF réalisera ainsi, en amont de la clôture du réexamen de sûreté VD3 1300, une EPS « événements internes » et une EPS « piscine BK » qui intégreront les demandes de l'IRSN formulées pour cette échéance et les modifications prévues d'être mises en œuvre lors des VD3 1300.

Le travail important déjà réalisé par EDF pour élaborer les EPS « événements internes » et « piscine BK », complété par les actions qu'il a annoncées, permettra de statuer lors de la clôture du réexamen de sûreté VD3 1300 sur le besoin éventuel de modifications supplémentaires.

Par ailleurs, EDF a annoncé des actions pour prendre en compte des demandes, formulées par l'IRSN au cours de l'instruction, d'améliorations à apporter aux prochaines EPS « événements internes » et « piscine BK » afin d'accroître leur pertinence.

EPS « incendie »

EDF a développé une EPS « incendie » pour le train P'4. La fréquence calculée de fusion du combustible qui en résulte est estimée à $4,5 \cdot 10^{-06}$ /a.r. Le scénario prépondérant est consécutif à l'ouverture intempestive d'une soupape du circuit primaire. Pour traiter ce risque, EDF a proposé une modification de la position neutre du « Tourner-pousser lumineux » (TPL), qui sera évaluée ultérieurement par l'IRSN sur la base d'un dossier à fournir par EDF.

Pour le train P4, EDF a fourni une étude simplifiée, estimant que les conclusions tirées de l'EPS incendie développée pour le train P'4 sont pertinentes pour le train P4.

L'IRSN souligne que le développement par EDF de sa première EPS « incendie » constitue un apport significatif à l'appréciation des risques liés à cette agression.

L'IRSN considère que la démarche adoptée par EDF pour réaliser cette étude est appropriée mais que certains aspects méthodologiques et hypothèses doivent être améliorés ou justifiés. A cet égard, il estime qu'EDF doit apporter des compléments d'étude dans le cadre du réexamen VD3 1300, notamment pour ce qui concerne :

- la prise en compte de valeurs moins optimistes pour les températures de dysfonctionnement des équipements et pour la modélisation des foyers et des scénarios d'incendie simulés ;
- les scénarios d'incendie menant au découlement de la piscine BK ;

- les scénarios initiés par un incendie dans le volume de feu² contenant la salle de commande ;
- la prise en compte des actions demandées dans les Fiches d'action incendie opérateur (FAIOp) ;
- la prise en compte de la propagation de l'incendie entre volumes de feu ;
- la fiabilité des moyens de détection de l'incendie et de sectorisation³ des locaux.

Par ailleurs, pendant l'instruction, l'IRSN a montré que, le train P4 présentant des différences par rapport au train P'4 de par sa géométrie, ses volumes de feu et les équipements présents dans les locaux, les conséquences fonctionnelles d'un incendie entre les deux trains peuvent être différentes, ce qui nécessite de mieux justifier la transposition au train P4 des conclusions tirées de l'étude réalisée sur le train P'4.

Au terme de l'instruction technique, EDF a annoncé un nombre conséquent d'actions visant à faire évoluer son EPS « incendie ». EDF réalisera ainsi, en amont de la clôture du réexamen de sûreté VD3 1300, une EPS « incendie » qui intégrera les demandes formulées par l'IRSN pour cette échéance. Cette mise à jour est nécessaire pour statuer sur le besoin éventuel de modifications supplémentaires.

Par ailleurs, EDF a proposé des actions pour prendre en compte des demandes, formulées par l'IRSN au cours de l'instruction, d'améliorations à apporter aux prochaines études EPS « incendie » afin d'accroître leur pertinence.

En ce qui concerne le train P4, l'IRSN estime qu'EDF devrait développer, à terme, une EPS incendie complète comparable à celle développée sur le train P'4.

EPS « inondation interne »

EDF a développé une EPS « inondation interne » pour le train P'4 en retenant des hypothèses jugées enveloppe de l'ensemble des sites de ce train. La fréquence calculée de fusion du combustible qui en résulte est estimée à $8,0 \cdot 10^{-08}$ /a.r. Pour le train P4, EDF a fourni une étude simplifiée.

L'IRSN considère que la méthode utilisée par EDF pour développer son EPS inondation interne est pertinente et conforme à l'état de l'art. Néanmoins, il estime qu'EDF doit apporter des compléments d'étude dans le cadre du réexamen VD3 1300, notamment pour ce qui concerne :

- la prise en compte de séquences associées à la piscine BK,
- la modélisation des moyens de détection et d'isolement des fuites étudiées,
- l'impact des spécificités de site sur les séquences,
- la justification de la transposition au train P4 des conclusions tirées de l'étude réalisée pour le train P'4.

² Un volume de feu est un ensemble de locaux délimité par des frontières et pour lequel les dispositions de protection contre le feu, définies en fonction de l'incendie retenu dans le référentiel de sûreté, garantissent qu'un feu survenant à l'intérieur ne puisse s'étendre à l'extérieur et vice-versa.

³ Ensemble des dispositions relatives aux parois d'un local ou d'un ensemble de locaux permettant de garantir qu'un feu survenant à l'intérieur ne puisse s'étendre à l'extérieur et vice-versa.

Au terme de l'instruction technique, EDF a annoncé des actions visant à apporter, en amont de la clôture du réexamen de sûreté VD3 1300, les compléments demandés par l'IRSN. EDF a également proposé des actions visant à prendre en compte des demandes, formulées par l'IRSN au cours de l'instruction, d'améliorations à apporter aux prochaines études EPS « inondation interne » afin d'accroître leur pertinence.

L'IRSN souligne l'apport de cette nouvelle EPS à l'appréciation des risques liés à l'inondation interne. En effet, cette étude a mis en exergue des risques qui n'avaient pas été traités lors de l'analyse déterministe de cette agression.

Les quatre séquences prépondérantes de l'étude, qui ne concernent en fait que la centrale nucléaire de Penly et sont toutes initiées par une rupture d'un circuit d'extinction d'incendie (JPI) dans le bâtiment électrique, représentent près de 97 % de risque de fusion du combustible. L'IRSN souligne qu'il n'existe actuellement aucune procédure indiquant les actions à réaliser en cas d'inondation dans les locaux concernés ; de plus l'isolement du circuit JPI nécessite la manœuvre d'une vanne manuelle qui ne fait pas l'objet d'essais périodiques. L'IRSN a alors recommandé qu'EDF prenne en compte dans les procédures de conduite la gestion des situations d'inondation interne dans le bâtiment électrique de la centrale nucléaire de Penly, justifie la disponibilité et l'opérabilité des moyens de détection et d'isolement d'une rupture sur le circuit JPI et propose, si besoin, des améliorations de conception. EDF a annoncé une action en ce sens.

EPS « séisme » sur la centrale nucléaire de Saint-Alban

L'IRSN note le travail important, intégrant des connaissances pluridisciplinaires, mené par EDF. Cette étude et son examen par l'IRSN ont permis de premiers échanges techniques concernant les méthodes à mettre en œuvre pour le développement d'EPS séisme en France.

L'IRSN considère que la méthodologie retenue par EDF pour réaliser cette EPS comporte bien les étapes essentielles à son élaboration à savoir :

- l'étude de l'aléa sismique, qui consiste à déterminer la fréquence de dépassement d'un niveau de séisme donné ;
- pour une sélection d'équipements et pour les structures, le calcul de leur fragilité définie par leur probabilité de défaillance pour un niveau de séisme donné ;
- l'identification des scénarios accidentels initiés par un séisme et pouvant conduire à la fusion du combustible et la quantification de leur fréquence.

En revanche, l'IRSN émet des réserves sur les méthodes mises en œuvre et les données utilisées par EDF :

- pour ce qui concerne l'aléa sismique, l'IRSN estime que des justifications complémentaires devront être fournies par EDF pour étayer les choix techniques ;
- pour ce qui concerne la sélection des équipements étudiés dans l'EPS puis l'évaluation de la fragilité des équipements et des structures face à un séisme, l'IRSN s'interroge sur la

pertinence de l'approche américaine développée par l'EPRI⁴ et utilisée par EDF, ainsi que sur son applicabilité aux réacteurs français ;

- enfin, l'IRSN considère qu'il est nécessaire de combiner les incertitudes sur l'ensemble des paramètres, y compris ceux relatifs à l'aléa, afin d'apprécier correctement la robustesse des installations aux phénomènes extrêmes.

La fréquence de fusion du combustible en cas de séisme est évaluée par EDF à $2,4 \cdot 10^{-6}$ /a.r, ce qui est du même ordre que celle évaluée pour les événements internes. Toutefois, à ce stade de l'exercice et compte tenu des réserves susmentionnées, l'IRSN ne se prononce pas sur la validité de cette valeur.

A l'issue de l'instruction, EDF a annoncé qu'il apportera certains compléments et justifications, notamment pour ce qui concerne l'applicabilité de la méthode EPRI au contexte des réacteurs français.

Compte tenu du caractère novateur du sujet et de sa complexité, l'IRSN estime que des réflexions et discussions sur les différentes étapes de l'EPS séisme doivent se poursuivre en amont de la réalisation des prochaines études.

Etude de la faisabilité et de l'intérêt de développer des EPS pour les conditions climatiques extrêmes et pour l'inondation externe

Compte tenu des dispositions prises sur des bases déterministes vis-à-vis de ces agressions, de leur caractère généralement prédictible, de l'absence d'expertise internationale en termes d'approche probabiliste et des difficultés à caractériser les aléas climatiques avec une période de retour élevée, EDF n'envisage pas, dans le cadre de la VD3 1300, de réaliser d'EPS pour les agressions climatiques extrêmes et l'inondation externe.

L'IRSN convient des difficultés évoquées par EDF pour réaliser des EPS « agressions », liées à la quantification de la fréquence des événements initiateurs et à la caractérisation de la fragilité des équipements pour des aléas allant au-delà du dimensionnement.

Pour autant, l'IRSN estime que, en fonction des sites et des agressions, des EPS agressions complètes, des évaluations probabilistes partielles ou des études de marges doivent être menées afin d'appréhender le niveau de sûreté des installations face à ces situations.

Compte tenu de la complexité du sujet, l'IRSN estime que des réflexions et discussions sur les méthodes, les hypothèses, ainsi que sur les utilisations futures de ces études sont indispensables en préalable à leur fourniture. L'IRSN recommande ainsi qu'EDF, en amont du réexamen de sûreté associé à la quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe, détermine les agressions, en fonction des sites, pour lesquelles des analyses de type probabiliste sont à réaliser et définisse les approches et les méthodes à mettre en œuvre pour l'analyse des séquences accidentelles induites par les agressions externes.

⁴ EPRI : Electric Power Research Institute