

Fontenay-aux-Roses, le 23 janvier 2013

Monsieur le président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis/IRSN N° 2013-28

Objet : Analyse de l'étude probabiliste de sûreté de niveau 2 des réacteurs de 1300 MWe dans le cadre de leur troisième réexamen de sûreté

Réf. [1] Lettre ASN CODEP-DCN-2012-021467
[2] Lettre DGSNR DEP-SD2-N° 500/2005

Dans le cadre du troisième réexamen décennal de sûreté des réacteurs de 1300 MWe (VD3), EDF a présenté les résultats et les enseignements de l'étude probabiliste de sûreté (EPS) de niveau 2, dénommée EPS 2 1300 VD2 REX.

Cette étude vise à évaluer, pour les réacteurs de 1300 MWe et en entrée du réexamen de sûreté, le risque de rejets radioactifs dans l'environnement, en cas d'accident de fusion du cœur faisant suite à des événements internes. Elle a pour objectif d'apprécier le niveau de sûreté de ces installations, d'analyser les principales contributions aux risques et d'identifier des axes d'amélioration de la sûreté de ces installations, à mettre en œuvre à l'occasion de leurs troisièmes visites décennales.

Par la saisine en référence [1], l'ASN a demandé à l'IRSN d'analyser l'étude transmise par EDF. Cette analyse doit permettre à l'ASN :

- de se prononcer sur la démarche retenue par EDF au regard des connaissances disponibles en France et à l'international ;
- d'évaluer la cohérence de l'EPS de niveau 2 avec le référentiel « accident grave » ;
- de donner un avis sur les choix de modélisation retenus par EDF ;
- de se prononcer sur la pertinence des résultats ;
- de se prononcer sur la suffisance et la pertinence des enseignements tirés de l'étude et de l'utilisation des résultats dans le cadre du réexamen associé aux troisièmes visites décennales des réacteurs de 1300 MWe ;
- de commenter les besoins en matière de recherche et développement.

Adresse courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre B 440 546 018

En particulier, l'ASN a souhaité une analyse détaillée des points suivants :

- les choix et l'exhaustivité des séquences de l'EPS de niveau 1 prises en compte dans la démarche d'élaboration des états dégradés de l'installation (EDI) en entrée de l'EPS de niveau 2 ;
- la pertinence du modèle générique de l'évaluation probabiliste de la fiabilité humaine et de l'évaluation des missions nécessitant une intervention humaine, appelées « missions de conduite » ;
- l'exhaustivité et la représentativité des études supports permettant d'apprécier les risques des installations ;
- l'exhaustivité des systèmes et des matériels considérés, la pertinence des hypothèses et des données relatives à leur tenue ultime, à leur mise en œuvre ou à leur restauration ;
- la pertinence de la construction des arbres d'événements pour modéliser les phénomènes physiques, l'application des procédures et guides, et les systèmes ;
- l'évaluation des incertitudes et leur prise en compte dans les enseignements de l'étude ;
- la pertinence des hypothèses et choix réalisés pour la définition des catégories de rejets ;
- la pertinence de la démarche d'EDF concernant l'évaluation des rejets ;
- la pertinence de la caractérisation des modes de défaillances du confinement et de leurs cumuls ;
- la pertinence des résultats et de la hiérarchisation des risques ;
- l'identification des séquences prépondérantes ;
- la détermination des phénomènes prépondérants ;
- la suffisance des évaluations relatives aux spécificités des réacteurs de 1300 MWe (P4 et P'4) et des sites.

L'analyse de l'IRSN couvre l'ensemble des points ci-dessus mentionnés.

En préambule, il convient de souligner que l'étude EPS 2 1300 VD2 REX d'EDF constitue la première EPS de niveau 2 réalisée pour les réacteurs du parc à double enceinte. EDF a indiqué qu'il mettra à jour cette étude pour intégrer les modifications qui seront mises en œuvre dans le cadre du réexamen VD3 1300 (étude EPS 2 1300 post VD3).

I - Pertinence de la démarche au regard des connaissances disponibles en France et à l'international

L'IRSN considère que la démarche suivie par EDF est globalement cohérente avec les pratiques mises en œuvre dans les autres pays. Toutefois, des améliorations significatives restent possibles. Elles font l'objet des remarques explicitées ci-après.

Choix et exhaustivité des séquences de l'EPS de niveau 1 retenues pour l'élaboration de l'EPS de niveau 2

Les fréquences des initiateurs identifiés par EDF en entrée de l'EPS 2 1300 VD2 REX sont cohérentes avec les séquences de fusion du cœur identifiées dans l'EPS 1 1300 VD2 REX.

Démarche d'élaboration des initiateurs de l'EPS de niveau 2

Dans son principe, l'IRSN considère pertinente l'approche développée par EDF, basée sur des logigrammes permettant d'affecter les séquences d'accidents issues de l'EPS 1 aux initiateurs de l'EPS 2. L'IRSN estime néanmoins que les initiateurs de l'EPS 2 doivent être définis de manière plus précise. L'IRSN a formulé à cet égard la recommandation n° 1.a.

Pertinence du modèle générique de l'évaluation probabiliste de la fiabilité humaine et de l'évaluation des missions de conduite

Les évaluations probabilistes de la fiabilité humaine de l'EPS 2 VD2 REX ont été réalisées avec le modèle MEPEM, développé pour ce projet et constitué de trois niveaux de complexité croissante. Les quantifications réalisées à partir de ce modèle ne reposent que sur des jugements d'expert. L'IRSN considère qu'EDF devra s'attacher, pour ses futures EPS, à apporter des éléments justifiant que les probabilités affichées sont pertinentes. Pour l'ensemble des points relatifs à la fiabilité humaine, l'IRSN a formulé les observations n° 18, 19 et 20.

Pertinence de la construction des arbres d'évènements

L'IRSN considère que les arbres d'évènements développés par EDF modélisent une grande partie des phénomènes physiques, du comportement des systèmes et des actions humaines caractéristiques des situations d'accidents graves.

Néanmoins, les incertitudes considérées par EDF dans les arbres d'évènements sont partielles et ne reflètent pas toujours l'état des connaissances sur les phénomènes physiques et leur variabilité. L'IRSN a formulé à cet égard la recommandation n° 1.b.

Par ailleurs, l'IRSN constate que, de par la démarche employée par EDF pour construire les arbres, et à l'exception du mode de perte du confinement par percement du radier, les analyses sont limitées au premier mode de perte de confinement. L'IRSN rappelle sa demande et l'engagement pris par EDF en 2007 dans le cadre des analyses coût-bénéfice, d'intégrer le risque d'un mode de perte de confinement ultérieur qui conduirait à une aggravation potentielle des conséquences. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n° 27.

Évaluation des rejets

La démarche générale mise en œuvre par EDF pour classer les séquences de l'EPS 2 en catégories de rejet constitue une première étape encourageante.

Toutefois, contrairement à la pratique internationale et bien que la demande en ait été formulée par l'ASN dans le cadre du réexamen VD3 900 [2], EDF ne procède pas à une évaluation réaliste des rejets pour les catégories de rejets identifiées. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n° 29. Cette absence d'évaluation des rejets a conduit EDF à associer à une même catégorie de rejet, des scénarios d'accidents dont les ordres de grandeur des conséquences radiologiques sont sans commune mesure. L'IRSN a formulé à cet égard la recommandation n° 1.c.

L'IRSN souligne également que les catégories de rejet obtenues ne rendent pas compte de la chronologie des rejets, qui a un fort impact sur leurs conséquences pour les populations.

II - Cohérence de l'étude avec le référentiel accidents graves

L'IRSN relève que certains risques et équipements identifiés dans le référentiel accidents graves ne sont pas considérés dans l'EPS 2 1300 VD2 REX d'EDF. L'IRSN a formulé à cet égard les observations n° 30, 31, 32.

III - Choix de modélisation

L'IRSN a examiné en détail les choix de modélisations retenues par EDF dans son EPS 2. Cela a conduit l'IRSN à identifier de nombreux points sur lesquels l'EPS 2 1300 VD2 REX transmise par EDF pourra être améliorée.

Exhaustivité et représentativité des études support

- Études des transitoires de thermohydraulique et de dégradation du combustible en cuve

L'IRSN estime que les hypothèses retenues par EDF pour modéliser les actions des opérateurs dans les calculs support à l'aide du code MAAP conduisent à simuler des situations non réalistes. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n°6. Par ailleurs, l'IRSN estime qu'EDF doit s'assurer que les délais dont disposent les opérateurs pour réaliser les actions de conduite sont compatibles avec la cinétique de vidange de la bêche du circuit d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG). L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n°7.

Vis-à-vis de l'utilisation du code MAAP, l'IRSN estime qu'EDF doit mettre à jour le coefficient de décharge à la brèche¹ utilisé dans ses calculs de type « brèche primaire » et consolider les valeurs géométriques retenues pour la modélisation de l'enceinte. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n°9. L'IRSN souligne par ailleurs que l'étude EPS 2 1300 VD2 REX ne prend pas en compte la stratégie de conduite dans les états d'arrêt (circuit primaire non fermé) actuellement préconisée dans le guide d'intervention en accident grave (GIAG) du palier 900 MWe et qui pourrait également être mise en œuvre sur le palier 1300 MWe. Or cette stratégie prévoit l'ouverture des soupapes SEBIM. Pour les accidents survenant lorsque le circuit primaire est entrouvert, cette ouverture présente des effets favorables à l'égard du risque de fusion en pression, et donc d'endommagement direct de l'enceinte (DCH). En revanche, dans ces mêmes situations elle peut accroître le risque d'explosion hydrogène. Il est nécessaire de modéliser cette stratégie dans l'EPS2 afin d'en apprécier l'ensemble des effets, tant favorables que défavorables. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n° 10.

- Taille et position des brèches du circuit primaire

L'IRSN estime qu'EDF, dans l'EPS 1300 de niveau 2, doit assurer une cohérence des tailles des brèches du circuit primaire avec celles considérées dans l'EPS 1300 de niveau 1. L'IRSN estime par ailleurs nécessaire qu'EDF identifie les scénarios pour lesquels la position des brèches du circuit primaire influe sur le scénario thermohydraulique, et réalise en conséquence des études support complémentaires. L'IRSN a formulé à cet égard les observations n° 1 et 2.

¹ Rapport entre le débit réel et le débit théorique au travers d'une brèche (ou d'une vanne « coefficient de débit »). Variant de 0,5 à 1, il dépend de la géométrie de la brèche.

- Repli et maintien en AN/RRA

EDF valorise le fait que, en cas de perte totale du circuit d'injection de sécurité et de petite brèche située au-dessus du niveau bas de la plage de travail du circuit de réfrigération à l'arrêt (RRA), les délais dont disposent les opérateurs sont suffisants pour permettre le repli et le maintien en Arrêt normal sur RRA (AN/RRA). L'IRSN estime nécessaire qu'EDF réalise des études support complémentaires, permettant d'étayer cette hypothèse. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n° 4.

- Renoyage du combustible avant son endommagement

Pour les séquences de brèches sur le circuit primaire, EDF retient actuellement l'hypothèse simplificatrice suivante : l'injection d'eau dans le circuit primaire par le circuit de contrôle volumétrique et chimique avant le découverture du cœur évite systématiquement l'entrée en accident grave et conduit à des rejets négligeables. L'IRSN a identifié un besoin d'études support permettant d'étayer cette affirmation et a formulé à cet égard l'observation n° 5.

- Combustion de l'hydrogène

La méthodologie adoptée par EDF pour évaluer le risque de perte de confinement par combustion de l'hydrogène émis dans l'enceinte interne, durant les phases précoce et tardive de l'accident, présente des faiblesses qui conduisent à sous-estimer le risque de rejet dans l'environnement dû à ce mode de défaillance. L'IRSN a formulé à cet égard les observations n° 12 et 28.

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF poursuive ses évaluations sur le risque de formation d'atmosphère explosive dans l'espace entre enceintes durant la phase précoce de l'accident, notamment en cas de dégradation du taux de fuite de l'enceinte interne pendant l'accident. L'IRSN a formulé à cet égard la recommandation n° 5.a.

Par ailleurs, l'IRSN a constaté que l'étude EPS 2 1300 VD2 REX ne considère pas la possibilité de formation d'atmosphère explosible dans l'espace entre enceintes lors de la phase tardive de l'accident. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n° 13.

L'IRSN a également constaté que l'étude EPS 2 1300 VD2 REX n'incluait pas le risque d'explosion dans le système d'éventage-filtration U5. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n° 14.

- Interaction corium-eau (en cuve et hors cuve)

Tout en reconnaissant la difficulté à évaluer les risques induits par une explosion de vapeur en cas d'interaction corium-eau, l'IRSN considère que l'état de l'art permet des évaluations plus précises et plus réalistes que les évaluations forfaitaires utilisées dans l'étude EPS 2 1300 VD2 REX. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n° 15. Par ailleurs, le risque d'explosion de vapeur consécutive à une interaction corium-eau en dehors de la cuve n'est pas évalué pour l'ensemble des situations où l'aspersion dans l'enceinte est mise en service. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n° 26.

- Échauffement direct de l'enceinte ou *Direct Containment Heating* (DCH)

Si la méthode générale, employée par EDF pour représenter dans son EPS 2 1300 le phénomène de DCH, semble acceptable, il convient de souligner le manque d'éléments permettant de juger quantitativement de l'ensemble des résultats. Par ailleurs, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF évalue le risque de DCH induit par un renoyage du cœur dégradé. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n° 16.

- Interaction corium-béton

L'IRSN estime que la démarche adoptée par EDF pour l'évaluation du phénomène d'interaction corium-béton nécessite des compléments, notamment en termes de situations considérées et de traitement des incertitudes. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n° 17.

- Tenue mécanique des enceintes de confinement

Tout en reconnaissant que la détermination des courbes de fragilité des enceintes de confinement est une tâche délicate, l'IRSN considère que l'évaluation des limites de tenue des enceintes de confinement en support à l'EPS 2 1300 d'EDF doit être complétée. L'IRSN a formulé à cet égard la recommandation n° 2.a.

- Inétanchéités du confinement et fuites par les traversées

La méthode générale employée par EDF pour représenter dans son EPS 2 1300 les inétanchéités initiales du confinement et les fuites par les traversées de l'enceinte est acceptable. L'IRSN estime néanmoins que des précisions doivent être apportées. L'IRSN a formulé à cet égard les observations n° 21 et 22.

Exhaustivité des systèmes et des matériels considérés, pertinence des hypothèses et des données relatives à leur tenue ultime, à leur mise en œuvre ou à leur restauration

- Restauration des systèmes après fusion du combustible

EDF prend en compte dans l'EPS 2 1300 VD2 REX la restauration de la turbine à combustion (TAC) et des turbopompes ASG après fusion du combustible. Selon l'IRSN, ces restaurations ne sont pas justifiées car fondées sur des temps moyens de récupération irréalistes. Le temps moyen de réparation de la TAC (resp. des turbopompes ASG) considéré par EDF est de 12 h (resp. 15 h) alors que les REX des événements récents est plutôt de l'ordre d'une vingtaine de jours (resp. 19 h). L'IRSN a formulé à cet égard la recommandation n° 2.b et l'observation n° 3.

- Ouverture des lignes de décharge du pressuriseur

L'IRSN estime que la démarche adoptée par EDF pour la modélisation de l'effet de la pression dans l'enceinte sur la pression d'ouverture des Lignes de Décharge du Pressuriseur (LDP) est acceptable. L'IRSN souligne cependant l'absence de données récentes permettant de vérifier expérimentalement la valeur de la pression d'ouverture des LDP. EDF ne prend pas en compte d'incertitudes sur cette valeur, reflétant le vieillissement des équipements et le manque de connaissance sur leur fonctionnement à basse pression en situation d'accident grave. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n° 8.

- Prise en compte des actions inopportunes

Les scénarios considérés par EDF ne prennent pas en compte l'effet de la mise en service du système d'aspersion dans l'enceinte sur le risque hydrogène à un instant autre que celui préconisé par le Guide d'Intervention en Accident Grave (GIAG). L'IRSN a formulé à cet égard la recommandation n° 2.c.

- Modélisation des systèmes

L'IRSN considère que la modélisation des systèmes adoptée par EDF dans l'EPS 2 1300 VD2 REX constitue une étape préliminaire qui devra être complétée lors de la mise à jour de l'étude, en cohérence avec la gestion prévue d'un accident (GIAG), le référentiel accidents graves et la vérification des matériels aux conditions d'un accident grave. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n°25.

Pertinence de la construction des arbres d'évènements pour modéliser les phénomènes physiques et les systèmes

- Ruptures du circuit primaire induites par la fusion du cœur en pression

L'IRSN estime que la modélisation du risque de ruptures induites du circuit primaire adoptée par EDF en cas de présence de bouchon d'eau dans la branche intermédiaire ne conduit pas à particulariser les situations les plus critiques pour la tenue des tubes de générateurs de vapeur, à savoir lorsque le circuit secondaire est dépressurisé. L'IRSN a formulé à cet égard l'observation n°11.

- Couplage des évènements physiques et cohérence avec le fonctionnement des systèmes

Vis-à-vis des principes de construction, l'IRSN souligne des faiblesses quant à la cohérence du couplage des phénomènes physiques, et à la dépendance entre le fonctionnement des systèmes et l'évolution physique de l'accident. Par ailleurs, l'IRSN considère que les arbres d'évènement doivent modéliser le risque de perte du confinement par déflagration lente de l'hydrogène durant la phase long terme de l'accident. L'IRSN a formulé à cet égard les observations n°23 et 24.

IV - Pertinence des résultats et de la hiérarchisation des risques

Sur la base de son analyse (tant du point de vue des méthodes employées que des hypothèses de modélisation et de la complétude de l'étude), l'IRSN estime que l'EPS 2 1300 VD2 REX sous-évalue les risques dans certains cas et les surévalue dans d'autres. Il en résulte qu'elle ne permet pas d'appréhender de manière réaliste certains risques de rejet dans l'environnement. Parmi ces risques sous-évalués figurent :

- la rupture de l'enceinte par déflagration lente durant la phase « en cuve » ;
- l'explosion de vapeur dans le puits de cuve ;
- la perte de refroidissement et de vidange de la piscine BK ;
- la rupture de l'enceinte par déflagration lente de l'hydrogène pendant la phase « hors cuve » (i.e. lorsque le corium n'est plus intégralement contenu dans la cuve) ;
- le risque hydrogène dans l'espace entre enceintes pendant la phase « hors cuve » ;
- la rupture de l'enceinte par pressurisation lente en cas d'échec de l'ouverture du dispositif d'événement-filtration U5 demandée par le GIAG.

V - Suffisance des évaluations relatives aux spécificités des réacteurs de 1300 MWe (P4 et P'4) et des sites

Spécificités des réacteurs P4 et P'4

Lors de l'évaluation des inétanchéités du confinement et des fuites de l'enceinte par les traversées, EDF considère dans son étude un nombre de traversées enveloppe des réacteurs de 1300 MWe, maximisant ainsi les fuites. L'IRSN considère acceptable cette approche.

Spécificité des sites - composition et épaisseur des radiers

L'IRSN estime que, lors de la phase d'interaction corium-béton, l'absence d'effet de la composition et de l'épaisseur des radiers sur le risque hydrogène et sur les cinétiques de pressurisation de l'enceinte et d'ablation des radiers n'a pas été démontrée. Ces points sont en lien avec les observations n° 12 et 17.

VI - Suffisance et pertinence des enseignements

Sur la base des résultats de son étude, EDF envisage, dans le cadre des troisièmes visites décennales des réacteurs de 1300 MWe, les améliorations suivantes pour réduire les risques de rejets précoces importants :

- l'anticipation de l'ouverture des soupapes du pressuriseur dans les procédures de conduite accidentelle en approche par état (conduite APE) et la fiabilisation de leur commande d'ouverture, afin de réduire le risque de bipasse de l'enceinte par une rupture de tubes de générateur de vapeur (RTGV) induite par la fusion du cœur lorsque le circuit primaire est en pression : l'IRSN considère que les améliorations proposées sont pertinentes, moyennant la vérification du comportement des soupapes en situation de battements prolongée à 160 bar ; l'IRSN a formulé à cet égard l'observation n° 33 ;
- la mise en œuvre d'un secours électrique des vannes d'isolement de l'enceinte et l'intégration dans la conduite d'une demande de fermeture de ces vannes en cas de perte des alimentations électriques pouvant dégénérer en accident grave, afin de réduire le risque de fusion du cœur avec bipasse de l'enceinte : l'IRSN partage l'objectif d'EDF de renforcer les moyens permettant l'isolement de l'enceinte en situation de perte totale des alimentations électriques (H3) et rappelle que ce dossier est traité aujourd'hui dans le cadre des Évaluations Complémentaires de Sûreté (ECS) ;
- une évolution de la conduite APE, afin de réduire la fréquence des situations de fusion du cœur avec le tampon d'accès des matériels ouvert : l'efficacité de cette évolution sera examinée ultérieurement par l'IRSN ;
- une modification de la commande des soupapes SEBIM, afin de réduire le risque de DCH : l'IRSN convient que cette modification permettra de limiter significativement le risque de fusion en pression et donc le risque de rejets précoces importants par DCH et rappelle que la modification des soupapes SEBIM actuellement à l'étude dans le cadre de l'extension de la durée de fonctionnement des réacteurs pourrait conduire à une amélioration de l'efficacité de dépressurisation des soupapes SEBIM à basse pression et contribuerait également à la réduction de ce risque ;
- le renforcement du système EDE d'extraction-filtration d'air de l'espace entre enceintes : l'IRSN partage avec EDF le constat que le système EDE doit être efficace y compris en cas d'accident grave et que les dispositions envisagées par EDF de renforcement de l'alimentation électrique et des capacités de débits d'extraction et de filtration vont dans ce sens (sans toutefois permettre la rétention des gaz rares). Toutefois, l'IRSN note qu'EDF n'a

pas pris en compte les problématiques liées à l'hydrogène dans l'espace entre enceintes.
L'IRSN a formulé à cet égard la recommandation n°5.b.

Compte tenu des limites des modélisations de l'étude EPS 2 VD2 REX visant à caractériser le risque hydrogène, l'IRSN considère que le risque de défaillance de l'enceinte interne de confinement par combustion ne peut pas être considéré comme résiduel, notamment lorsque sont prises en compte des situations particulières (renoyage tardif du combustible après début de dégradation, démarrage tardif de l'EAS ...).

L'IRSN considère que l'EPS 2 d'EDF ne permet pas d'apprécier les marges disponibles pour la tenue des enceintes internes en cas de combustion d'hydrogène compte tenu du dimensionnement des recombineurs d'hydrogène et des limites de tenue de ces enceintes. L'IRSN a formulé à cet égard la recommandation n°4.

VII - Besoins en matière de recherche et développement

Il ressort de l'analyse réalisée par l'IRSN que des actions de R&D sont nécessaires pour une prise en compte réaliste, dans les EPS 2, de tous les scénarios de dilution hétérogène, y compris les dilutions inhérentes (i.e. résultant des conséquences d'un événement initiateur qui n'est pas une dilution de l'eau du circuit primaire). L'IRSN a formulé à cet égard la recommandation n°3.

Par ailleurs, une meilleure exploitation de l'état de l'art disponible semble nécessaire pour appréhender les problématiques liées à la combustion de l'hydrogène, à l'interaction corium-eau et au renoyage du combustible en cuve.

VIII - Conclusion

L'IRSN estime que les résultats de l'étude EPS2 1300 VD2 REX sont à considérer comme préliminaires. L'IRSN a noté que de nombreux points seront traités par EDF après la phase consacrée aux études génériques associées au réexamen VD3 1300. En conséquence, l'IRSN estime que les faiblesses actuelles de l'étude doivent être indiquées dans le rapport de synthèse de l'EPS2 1300 post VD3. Ce point fait l'objet de la recommandation n°6.

Par ailleurs, au regard des enseignements qu'il est néanmoins possible de tirer des résultats de l'EPS 2 1300 VD2 REX, l'IRSN estime que les axes d'amélioration identifiés par EDF sont pertinents mais rappelle que les risques de combustion hydrogène dans l'enceinte interne et dans l'espace entre enceintes, les risques d'explosion de vapeur hors cuve ainsi que les risques de dilutions hétérogènes sont insuffisamment pris en compte dans l'EPS 2 1300 d'EDF. Une caractérisation plus réaliste de ces risques pourrait conduire à définir des dispositions de prévention ou de limitation des conséquences supplémentaires.

Des recommandations (axes d'amélioration prioritaires) sont formulées par l'IRSN en annexe au présent avis. Des observations sont également mentionnées en annexe. Elles sont de deux types :

- les observations de l'IRSN formulées pendant l'instruction et qui font l'objet d'engagements d'EDF,
- des actions d'amélioration de priorité moindre, que l'IRSN estime toutefois nécessaire d'entreprendre.

Pour le directeur général
et par délégation,

F. MENAGE

Recommandations

Démarche

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF, à partir des EPS 2 VD1 REX N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300 :

- a) définisse de manière plus précise les initiateurs, de manière à distinguer les paramètres influant sur la progression de l'accident, notamment :
 - la cinétique de l'accident ;
 - le mode de défaillance des systèmes RIS et EAS (en injection directe ou en recirculation) ;
 - la pression du circuit primaire ;
 - l'état de l'atmosphère dans l'enceinte de confinement (pression, quantité d'eau injectée ...) ;
- b) complète son évaluation des incertitudes liées aux phénomènes physiques ;
- c) améliore la définition de ses catégories de rejet, de manière à mieux rendre compte de la chronologie des rejets, qui a un fort impact sur leurs conséquences pour les populations, et à procéder à une évaluation réaliste des rejets.

Par ailleurs, EDF devra veiller à ne pas associer à une même catégorie de rejet des scénarios d'accidents dont les ordres de grandeur des conséquences radiologiques sont sans commune mesure.

Choix de modélisation

Recommandation n° 2

A l'issue de son analyse des choix de modélisation de l'EPS 2 1300 VD2 REX, l'IRSN :

- a) recommande qu'EDF, lors de son évaluation des limites de tenue des enceintes de confinement en support à l'EPS2 1300 VD3 REX :
 - évalue par des calculs de thermohydraulique la pression de stabilisation dans l'enceinte interne de confinement en fonction de son taux de fuite et conclut sur le risque d'une rupture en mode « break » (i.e. par une rupture localisée et franche de la paroi) ;
 - inclut le risque de défaillance de l'enceinte externe par combustion hydrogène dans l'espace entre enceintes dans les critères de défaillance des enceintes à double paroi ;
 - conforte la forme de la courbe de fragilité de l'enceinte, en particulier dans la zone de pression inférieure à 6 bar ;
- b) considère que le temps de réparation de la TAC de 12 heures pris en compte par EDF n'est pas crédible, et recommande, compte tenu des données issues du REX récent relatives au temps d'indisponibilité de cet équipement, que la réparation de la TAC en situation accidentelle ne soit pas valorisée dans la version post VD3 de l'EPS 2 1300 ;

- c) souligne que les scénarios considérés par EDF ne prennent pas en compte l'effet de la mise en service du système d'aspersion dans l'enceinte (EAS) sur le risque hydrogène à un autre instant que celui préconisé par le GIAG et recommande qu'EDF évalue l'effet d'un retard à la mise en service de l'EAS et en tienne compte à partir des EPS 2 VD1 REX N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300 en lien avec la modélisation des erreurs humaines.

Pertinence et suffisance des enseignements

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF, à partir de l'EPS 2 VD1 REX N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300, approfondisse son traitement des situations de dilution hétérogène :

- a) d'une part, en identifiant et modélisant dans ses EPS, de façon systématique, l'ensemble des scénarios pouvant mener à une dilution hétérogène inhérente à une séquence accidentelle et en traitant notamment :
- les risques de dilution hétérogène intervenant lors du passage en régime caloduc² (les situations de brèches intermédiaires, les autres situations accidentelles avec passage en régime caloduc et formation d'un bouchon dans la branche intermédiaire (dite « branche en U ») du circuit primaire, les situations de perte du circuit de réfrigération à l'arrêt définies sur la base des constatations des essais PKL) ;
 - les risques de dilutions hétérogènes intervenant par rétrovidange lors d'une RTGV, en distinguant les situations de RTGV avec redémarrage d'une circulation forcée du fluide primaire avant le remplissage de la branche intermédiaire du circuit primaire (petites RTGV), et les situations de RTGV avec débit important et débordement de la branche intermédiaire ;
 - les risques liés à une dilution hétérogène des puisards de l'enceinte ;
- b) d'autre part, en évaluant d'une façon aussi réaliste que possible, les conséquences induites par les différents types de dilution hétérogène.

Recommandation n° 4

L'IRSN considère que l'EPS 2 d'EDF ne permet pas d'apprécier les marges disponibles pour la tenue des enceintes internes en cas de combustion d'hydrogène compte tenu du dimensionnement des recombineurs d'hydrogène et des limites de tenue de ces enceintes. L'IRSN recommande qu'une évaluation détaillée des marges disponibles vis-à-vis du risque de défaillance des enceintes internes du palier 1300 MWe après combustion soit réalisée, en prenant en compte les scénarios d'accidents tels qu'ils ressortent des EPS de niveau 2, les connaissances issues des programmes de R&D sur les cinétiques de production d'hydrogène depuis la cuve ou le puits de cuve, ainsi que le comportement de l'enceinte de confinement. Cette évaluation détaillée permettra de réévaluer la conception des recombineurs, sur une base de scénarios plus étendue que celle qui a servi à leur dimensionnement.

² Situation dans laquelle la vapeur formée à la sortie du cœur est transportée vers les générateurs de vapeur, où elle s'accumule dans les épingles, se refroidit au contact du circuit secondaire et se condense sur les parois des tubes. L'eau condensée a une teneur très faible en bore.

Recommandation n° 5

- a) Les scénarios actuellement étudiés par EDF, fondés sur un taux de fuite de l'enceinte interne compris entre 1,5 % et 3 % du volume par jour, ne font pas apparaître de formation d'atmosphère explosible dans l'espace entre enceintes lorsque le corium est dans la cuve. L'IRSN recommande qu'EDF poursuive ses évaluations en considérant la possibilité d'une dégradation du taux de fuite de l'enceinte interne lorsque le corium est dans la cuve.
- b) L'IRSN recommande que le bien-fondé des dispositions de collecte des fuites vers l'espace entre enceintes et de renforcement de son système de mise en dépression (EDE), envisagées par EDF dans le cadre du réexamen VD3 1300, soit examiné en prenant en compte le risque de combustion d'hydrogène dans cet espace. Dans ce cadre, le risque de transfert d'hydrogène et de monoxyde de carbone dans l'espace entre enceintes sera évalué en tenant compte de l'impact des conditions d'accident grave sur l'étanchéité des revêtements posés à l'intrados des enceintes internes.

Recommandation n° 6

L'IRSN a noté qu'EDF ne peut inclure une partie de ses demandes relatives à la qualité de l'étude dans la mise à jour post VD3 de l'EPS 2 1300 et recommande que les faiblesses connues de l'étude soient indiquées dans le rapport de synthèse de l'EPS2 1300 post VD3 et résorbées en tant que de besoin dans les EPS 2 VD1 REX N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300.

Observations

Observation n° 1

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF, lors de la mise à jour de son étude EPS 2 1300 post VD3, mette en cohérence les tailles des brèches du circuit primaire considérées pour l'élaboration des EDI de type « APRP RRA initialement non connecté » et « APRP RRA initialement connecté » avec les plages de diamètre considérées pour l'étude EPS 1300 de niveau 1, et tienne compte de l'influence de la taille de brèche sur la physique de l'accident (cinétique, pression primaire, etc.).

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à assurer une cohérence avec l'EPS de niveau 1, mais que cette action sera réalisée à partir des EPS 2 VD2 N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300.

Observation n° 2

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF identifie les scénarios pour lesquels la position de la brèche influe sur le scénario thermohydraulique, et réalise les calculs MAAP en conséquence.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à réaliser des calculs de sensibilité sur la position de la brèche, mais que cette action sera réalisée en dehors du réexamen de sûreté VD3 1300.

Observation n° 3

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF procède à la mise à jour, sur la base du REX récent, du temps moyen de réparation des turbopompes ASG.

Par ailleurs, l'IRSN estime que la réparation des turbopompes ASG en situation accidentelle et pour des scénarios à cinétique rapide en regard du temps moyen de réparation (fusion du cœur en moins de deux heures) ne doit pas être valorisée dans les prochaines versions de l'EPS 2 1300.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à ne pas valoriser la réparation des turbopompes ASG dans l'EPS 2 1300 post VD3.

Observation n° 4

L'IRSN estime nécessaire que, lors de la mise à jour de son étude, EDF réalise des études support permettant de confirmer que, en cas de perte totale du circuit d'injection de sécurité et de petite brèche située au-dessus du niveau bas de la plage de travail du circuit de réfrigération à l'arrêt (RRA), les délais dont disposent les opérateurs sont suffisants pour permettre le repli et le maintien en Arrêt normal sur RRA. L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à réaliser ce type d'études, mais que cette action sera réalisée en dehors du réexamen de sûreté VD3 1300.

Observation n° 5

L'IRSN estime nécessaire que, lors de la mise à jour de son étude, EDF prenne en compte de façon explicite et sur la base d'études support, les situations de renoyage (par exemple, injection d'eau par le circuit de contrôle volumétrique en cas de défaillance du circuit d'injection de sécurité) permettant d'apprécier l'impact d'un apport d'eau sur la dégradation du cœur (cinétique, production d'hydrogène etc.), et mette à jour si nécessaire les hypothèses simplificatrices introduites dans l'étude EPS 2 1300 VD2 REX.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à introduire l'accroissement du risque hydrogène en cas de renoyage dans les prochains modèles EPS 2, mais que cette action sera réalisée en dehors du réexamen de sûreté VD3 1300.

Observation n° 6

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF révise, dans ses études support utilisant le code MAAP, les règles de modélisation des actions opérateurs effectuées en application du guide d'intervention en accident grave ou des procédures de conduite accidentelle en approche par état, de manière à éviter de simuler des situations non réalistes (vitesse d'action des opérateurs trop rapide). EDF devra mettre à jour les études supports en conséquence ainsi que la prochaine version de l'EPS 2 1300 post VD3.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à corriger les incohérences relevées par l'IRSN dans les prochains calculs support, mais que cette action sera réalisée en dehors du réexamen de sûreté VD3 1300.

Observation n° 7

Pour l'EPS 2 1300 post VD3, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF prenne en compte, pour l'étude des séquences de type « petite brèche primaire » avec « arrêt Automatique des pompes primaires », l'échec éventuel de la réalimentation de la bêche du circuit d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG) (ou justifie son caractère négligeable en regard des délais disponibles pour les opérateurs et de leur charge de travail) et vérifie que le code MAAP ne présente pas d'anomalie analogue au code CATHARE en thermosiphon.

Observation n° 8

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF, à partir des EPS 2 VD1 REX N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300, prenne en compte l'incertitude sur la pression d'ouverture des soupapes SEBIM à basse pression et en tienne compte dans ses conclusions. Ces versions de l'EPS 2 devront par ailleurs permettre de quantifier le gain de sûreté qui sera apporté par la modification des têtes de soupapes SEBIM prévue dans le cadre de l'extension de la durée de fonctionnement des réacteurs.

Observation n° 9

Afin de s'assurer, dans les calculs MAAP, de la pertinence des automatismes sollicités, des actions des opérateurs et de l'état de l'installation avant l'entrée dans le domaine des accidents graves, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF révise le coefficient de décharge à la brèche utilisé dans les calculs MAAP et consolide les valeurs géométriques retenues pour la modélisation de l'enceinte.

Lors de la prochaine mise à jour de l'EPS 2 1300 post VD3, les calculs MAAP de type « brèche primaire » ou sollicitant les lignes de décharge du pressuriseur devront être mis à jour avec un coefficient de décharge à la brèche utilisé dans les calculs MAAP et une modélisation de l'enceinte validés.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé, dans les prochains calculs support des EPS 2 VD2 N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300, à réviser le coefficient de décharge à la brèche utilisé dans le code MAAP.

Observation n° 10

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF prenne en compte, pour l'EPS 2 1300 post VD3, la stratégie de conduite qui serait appliquée pour les états d'arrêt (RCP non fermé), après fusion du cœur.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à analyser l'impact des stratégies de conduite pour les états non fermés, dans le cadre de l'EPS 2 1300 post VD3.

Observation n° 11

Vis-à-vis de l'hypothèse retenue par EDF pour évaluer la probabilité conditionnelle d'apparition d'une RTGV induite en cas de présence de bouchon d'eau dans la branche intermédiaire, l'IRSN considère qu'EDF n'a pas amené les éléments permettant de justifier une probabilité conditionnelle de 0,1 et estime nécessaire de retenir, pour la prochaine version de l'EPS 2 1300 post VD3, une valeur de probabilité conditionnelle de 1 dans le cas où le circuit secondaire est dépressurisé.

Observation n° 12

Pour ce qui concerne le risque hydrogène, l'IRSN indique que la méthodologie adoptée par EDF s'appuie sur une modélisation simplifiée de l'enveloppe interne et de l'espace entre enceintes, sur des critères non conformes à l'état de l'art pour déterminer les régimes de combustion menaçant le confinement, sur des hypothèses « optimistes » concernant la combustion instantanée des gaz dans le puits de cuve et la recombinaison de l'hydrogène et du monoxyde de carbone lors de la phase tardive de l'accident grave ou la minoration de 10 % des pics de pression PAICC³ lors de la phase où le corium est en cuve.

Aussi, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF, pour la prochaine version de l'EPS 2 1300 post VD3, améliore son approche :

- a) en utilisant des modèles plus élaborés de l'enveloppe interne et de l'espace entre enceintes ;
- b) en adoptant des critères conformes à l'état de l'art pour discriminer les différents régimes de combustion et en les appliquant dans chaque compartiment de l'enveloppe ;
- c) en considérant les valeurs des pics PAICC sans minoration ;
- d) en prenant en compte l'impact de la pression, de la température et du déficit en oxygène sur les performances des recombineurs d'hydrogène lors de la phase tardive de l'accident grave ;
- e) en réalisant une étude de sensibilité sur la fraction des gaz imbrûlés dans le puits de cuve et de son impact sur l'accumulation d'hydrogène dans l'enveloppe interne lors de la phase tardive de l'accident grave.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à mener des actions pour améliorer son approche, mais que ces actions seront réalisées en dehors du réexamen de sûreté VD3 1300.

³ PAICC : pression dans l'enveloppe correspondant à une combustion adiabatique, isochore et complète de l'hydrogène.

Observation n° 13

L'IRSN indique que ses propres études, confirmées lors de l'instruction par celles d'EDF, mettent en évidence la possibilité de formation d'une atmosphère explosible dans l'espace entre enceintes lorsque le corium n'est plus intégralement situé dans la cuve, pour des taux de fuite de l'enceinte interne vers l'espace entre enceintes inférieurs à 3 % du volume par jour. Les pics de pression générés par la combustion dans ces cas dépassent la limite de la tenue de l'enceinte externe. Aussi, l'IRSN considère que l'étude détaillée de ces situations doit être poursuivie, afin d'évaluer les risques associés et de définir si nécessaire, à échéance du réexamen VD3 1300, les dispositions permettant d'éviter la formation d'atmosphère explosible dans l'espace entre enceintes lors de la phase tardive d'un accident grave.

Observation n° 14

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF évalue, dans la prochaine version de l'EPS2 1300 post VD3, le risque d'explosion dans le système de filtration-éventage U5.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à analyser le risque d'explosion hydrogène dans le dispositif U5 dans le cadre du GPR Post-Fukushima.

Observation n° 15

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF, lors de la mise à jour de son EPS 2 1300 post VD3, évalue en s'appuyant sur l'état des connaissances, de manière plus réaliste et non forfaitaire, l'impact de l'interaction corium-eau sur le confinement.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à examiner la nécessité de réviser la probabilité forfaitaire introduite dans les EPS 2 pour l'interaction corium-eau en fonction de l'instruction du bilan « *Avantages – inconvénients du noyage du puits de cuve* ».

Observation n° 16

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF documente, lors de la mise à jour de l'EPS 2 1300 post VD3, l'ensemble des éléments (hypothèse, modèles, études support) permettant d'apprécier la prise en compte du phénomène d'échauffement direct de l'enceinte (DCH) et évalue tous les risques associés à une rupture de cuve en pression (déplacement de la cuve, ébranlement des circuits primaire et secondaire ...). Par ailleurs, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF évalue le risque de DCH induit par un renoyage du cœur dégradé.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à poursuivre ses travaux sur cette problématique, mais que ces actions seront réalisées en dehors du réexamen de sûreté VD3 1300.

Observation n° 17

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF, lors de la mise à jour de l'EPS 2 1300 post VD3, pour l'évaluation du phénomène d'interaction corium-béton (ICB) :

- a) analyse un plus grand nombre de situations, notamment du point de vue des masses de corium en jeu, de l'instant de rupture de la cuve, de la pression dans l'enceinte et de la

disponibilité des appoints en eau à l'instant de rupture de la cuve, aussi bien pour les états en puissance que les états à l'arrêt du réacteur ;

- b) évalue les incertitudes en s'appuyant sur des calculs prenant en compte les spécificités des réacteurs de 1300 MWe (i.e. le couloir d'accès au puits de cuve, ainsi que les épaisseurs et la composition des différents radiers) et en utilisant les résultats disponibles de la R&D menée actuellement sur le sujet ;
- c) particularise les situations pour lesquelles le percement du radier interviendrait avant l'atteinte des critères d'ouverture du dispositif d'éventage-filtration U5 et en tienne compte dans son évaluation des rejets.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à apporter des améliorations à la modélisation de l'ICB dans le modèle EPS 2 1300 VD3 REX, en prenant notamment en compte l'ICB sous eau. Par ailleurs, EDF indique qu'il vérifiera que les cas de percée du radier avant ouverture du dispositif U5 sont résiduels, compte tenu de l'état des connaissances sur l'ICB.

Observation n° 18

Vis-à-vis des actions humaines considérées avant la fusion du cœur, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF, pour la prochaine version de l'EPS 2 1300 post VD3 :

- a) évalue la probabilité d'échec de la mission de conduite « repli en état d'arrêt pour intervention (API) avant découverture du cœur » en intégrant les difficultés inhérentes à une connexion du circuit de réfrigération à l'arrêt avec un fluide primaire à saturation, ainsi que la réalimentation à long terme de la bêche du circuit d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG) ;
- b) justifie l'absence d'échec pour la fonction « diagnostic » de la mission de conduite « ouverture des lignes de décharge du pressuriseur avant l'entrée dans le guide d'intervention en accident grave (GIAG) » ;
- c) justifie son évaluation de l'échec, estimé « hautement improbable », de cette mission de conduite, pour la séquence « BLF » (perte de la source froide entraînant une brèche sur la ligne d'arbre des pompes primaires (4 x 0,85 pouce), bêche ASG réalimentée, en états a et b) ;
- d) consolide les probabilités d'échec retenues pour la mission de conduite « réalimentation de la bêche PTR avant fusion du cœur » :
 - i. en justifiant que l'équipe locale de crise et l'organisation nationale de crise disposent de la même version des documents du guide d'action pour les équipes de crise (GAEC) ;
 - ii. en justifiant que l'effectif présent sur le site (au sein de l'équipe de crise, en salle de commande et sur le terrain) est suffisant pour effectuer cette mission de conduite.

L'IRSN note que, en ce qui concerne le repli en API, EDF s'est engagé à mener une analyse et à modifier la modélisation de la fiabilité humaine en fonction des conclusions de celle-ci, mais que cette action sera réalisée en dehors du réexamen de sûreté VD3 1300. Vis-à-vis de l'ouverture des lignes de décharge du pressuriseur, l'IRSN note qu'EDF s'est engagé à apporter des justifications sur les choix effectués, dans le cadre de la version 1300 post VD3 de l'étude.

Observation n° 19

Vis-à-vis de la modélisation des actions immédiates du guide d'intervention en accident grave (GIAG), l'IRSN estime nécessaire qu'EDF, pour la prochaine version de l'EPS 2 1300 post VD3 :

- a) modélise la dépendance entre l'échec des missions de conduite « ouverture des lignes de décharge du pressuriseur avant fusion du cœur, en application des procédures de conduite accidentelle en approche par état » et « ouverture des lignes de décharge du pressuriseur avant fusion du cœur, en application du GIAG ». Une dépendance partielle peut être retenue, avec un niveau à définir ;
- b) améliore la modélisation de la mission « réalimentation de la bache PTR avant relocalisation du corium » :
 - i. en considérant que l'action est demandée à l'équipe de conduite à l'entrée dans le GIAG ;
 - ii. en justifiant que l'effectif sur le site (tant au sein de l'équipe de crise que sur le terrain) est suffisant pour cette action.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à analyser les risques de dépendance entre les actions réalisées avant et après l'entrée dans le GIAG, mais que cette analyse sera réalisée en dehors du réexamen de sûreté VD3 1300.

Observation n° 20

Vis-à-vis de la modélisation des actions différées du GIAG, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF, pour la prochaine version de l'EPS 2 1300 post VD3 :

- a) évalue la probabilité d'échec de la mission de conduite « ouverture du dispositif d'éventage-filtration U5 en situation de perte totale des alimentations électriques » ; cette évaluation devra prendre en compte :
 - i. les difficultés d'action pour l'opérateur chargé de la manœuvre des vannes manuelles ;
 - ii. les difficultés de diagnostic pour les équipes de crise, qui devront évaluer la pression de l'enceinte sans l'instrumentation dédiée RIS 007 MP ;
- b) analyse le cas d'un retour tardif des alimentations électriques impliquant une ouverture du dispositif U5 avec un temps de préchauffage inférieur au délai minimum préconisé (24 h).

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à réviser la mission de conduite « ouverture du dispositif d'éventage-filtration U5 en situation de perte totale des alimentations électriques » lors du réexamen de sûreté VD3 1300, et à reconsidérer l'analyse du risque d'explosion dans le dispositif U5 à l'issue des travaux réalisés dans le cadre Post-Fukushima.

Observation n° 21

Sur la base des principaux risques identifiés par l'étude, l'IRSN estime nécessaire pour la prochaine version de l'EPS 2 1300 post VD3 :

- a) qu'en attente de la fiabilisation du secours électrique des vannes d'isolement enceinte envisagée en VD3 1300, EDF définisse un ordre priorisé de fermeture des vannes d'isolement de l'enceinte proportionné aux enjeux de sûreté en situation d'accident grave avec perte des alimentations électriques (DCC LH ou H3) ;

- b) qu'EDF étende aux traversées des circuits fermés dans l'enceinte les dispositions de fermeture qui seront mises en œuvre pour les traversées avec circuits ouverts en situation DCC-LH et H3, si les circuits concernés ne sont pas vérifiés aux conditions d'accident grave.

L'IRSN note l'engagement d'EDF relatif à la mise en œuvre dans le cadre d'une ITS de l'ordre anticipé de fermeture des vannes d'isolement de l'enceinte en situation de perte des alimentations électriques (action n° RECS-COND4 du courrier DPI/DIN/EM/MRC/PC-12/011).

Observation n° 22

Du point de vue du traitement du mode β^4 dans les EPS 2, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF, à partir des EPS 2 VD1 REX N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300 :

- a) présente les résultats des quantifications des fuites résultant d'inétanchéité des traversées soumises aux essais périodiques EPP, en distinguant les traversées conduisant à des fuites directes ;
- b) vérifie, pour les états d'arrêt où le circuit primaire est entrouvert ou ouvert (états d1, qd et rd), que l'EPS modélise bien la conduite APE prévue pour l'isolement des traversées et, si nécessaire, modifie les arbres de défaillances s'y rapportant, et en tire les conclusions sur les risques induits ; cette vérification devra être présentée dans la documentation associée à l'étude ;
- c) prend en compte les durées d'ouverture du tampon d'accès matériel (TAM) et des sas constatées suite à l'application du dossier d'amendement « DA TAM » ;
- d) évalue la variabilité des probabilités moyennes d'ouverture des quatre pénétrations de type B étudiées, (d'une tranche à l'autre et en fonction du type d'arrêt) et en tient compte dans les calculs d'incertitudes associés à l'EPS ;
- e) vérifie, pour les états d'arrêt entrouvert et ouvert (états d1, qd et rd), que l'EPS modélise bien la conduite APE prévue lors de la « surveillance de la bache PTR », pour la fermeture des lignes de débit nul des pompes « moyenne pression » et « basse pression » du circuit d'injection de sécurité et des lignes d'essais du circuit d'aspersion de l'enceinte et, si nécessaire, modifie les arbres de défaillances s'y rapportant, et en tire les conclusions sur les risques induits ; cette vérification devra être présentée dans la documentation associée à l'étude ;
- f) réévalue la probabilité d'échec de la mission de conduite de fermeture des sas en état c, en tenant compte du fait que cette action n'est pas prévue dans les règles de conduite.

Observation n° 23

Vis-à-vis de la méthode de construction des arbres d'évènements, l'IRSN estime nécessaire que, à partir des EPS 2 VD1 REX N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300 :

- a) EDF modélise l'influence réciproque des évènements physiques, tient compte de la dépendance entre le fonctionnement des systèmes et l'évolution physique de l'accident – en

⁴ Défaillances du confinement dues à des inétanchéités préexistantes –au niveau des joints des traversées– ou à des vannes d'isolement restées en position ouvertes.

particulier pour ce qui concerne le renoyage du cœur – et évalue l'impact de la cinétique des scénarios sur le déroulement de l'accident ;

- b) EDF s'assure de la cohérence des hypothèses relatives au fonctionnement des systèmes considérés pour les calculs support MAAP, avec les missions « systèmes » implantées dans les arbres d'évènements.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à améliorer la cohérence du couplage des évènements physiques ainsi que des systèmes considérés dans les calculs MAAP et dans les arbres d'évènements, mais que cette action sera réalisée en dehors du réexamen de sûreté VD3 1300.

Observation n° 24

L'IRSN estime nécessaire que, à partir des EPS 2 VD1 REX N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300, EDF introduise dans les arbres d'évènements le risque de perte du confinement par déflagration lente de l'hydrogène durant la phase « hors cuve » (i.e. lorsque le corium n'est plus intégralement contenu dans la cuve). Une évaluation selon le même principe que pour la phase « en cuve » (pic PAICC⁵ et courbe de fragilité) serait acceptable.

Observation n° 25

L'IRSN considère que la modélisation des systèmes adoptée par EDF dans l'EPS 2 1300 VD2 REX constitue une étape préliminaire qui devra être complétée pour la prochaine version de l'EPS 2 1300 post VD3, en cohérence avec la gestion prévue d'un accident dans le guide d'intervention en accident grave (GIAG), le référentiel accident grave et la vérification des performances des matériels aux conditions d'un accident grave. Ces compléments devront notamment concerner les points suivants :

- a) la prise en compte de la tenue à l'irradiation des matériels pour les conditions résultant des scénarios modélisés dans l'EPS 2 ;
- b) l'évaluation de l'efficacité du système de dépressurisation de l'espace entre enceintes EDE lors des phases long terme de l'accident (colmatage ou échauffement des filtres, efficacité de filtration ...) ;
- c) les conséquences favorables et défavorables de la décharge des accumulateurs du circuit d'injection de sécurité RIS, sans les considérer systématiquement vidés avant la fusion du cœur ;
- d) les conséquences favorables et défavorables d'une utilisation des systèmes RIS et EAS, avec une modélisation réaliste, sans supposer une défaillance systématique dès l'entrée en accident grave ;
- e) une modélisation réaliste du comportement des soupapes SEBIM, sans postuler la coupure systématique de leur alimentation électrique.

L'IRSN note qu'EDF indique qu'il prévoit de valoriser à partir du modèle EPS 2 1300 post VD3, éventuellement avec une fiabilité dégradée, les matériels considérés en « échec certain » dans l'EPS 2

⁵ PAICC : pression dans l'enceinte correspondant à une combustion adiabatique, isochore et complète de l'hydrogène

1300 VD2 REX, et ceci sans attendre les résultats des essais de tenue à l'irradiation (si non disponibles à échéance de la mise à jour).

Observation n° 26

L'IRSN estime nécessaire que, pour la prochaine version de l'EPS 2 1300 post VD3, EDF évalue le risque d'explosion de vapeur hors cuve pour toutes les situations où l'aspersion dans l'enceinte est mise en service, et modifie en conséquence les arbres d'événements.

L'IRSN note qu'EDF s'est engagé à améliorer la modélisation de la mission de l'EAS dans l'EPS 2 pour pouvoir dissocier la perte de l'EAS à la sollicitation et à la recirculation, ceci dans l'optique de discriminer la présence d'eau dans le puits de cuve vis-à-vis du risque d'explosion vapeur, mais que cette action sera réalisée en dehors du réexamen de sûreté VD3 1300.

Observation n° 27

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF, à partir des EPS 2 VD1 REX N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300, traite le cumul des modes de défaillance menant à la même catégorie de rejets, et modifie en conséquence les arbres d'événements.

Observation n° 28

L'IRSN estime nécessaire que, pour la prochaine version de l'EPS 2 1300 post VD3, EDF traite de façon spécifique les situations pour lesquelles les calculs support de dégradation du cœur ne conduisent pas à la rupture de la cuve mais pouvant induire une défaillance de l'enceinte par combustion de l'hydrogène.

Observation n° 29

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF, à partir des EPS 2 VD1 REX N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300, conformément à la pratique internationale, et conformément à la demande D13-e formulée par l'ASN en 2005 [2], procède à une évaluation réaliste des rejets. Ceci nécessite la réalisation de calculs de rejets spécifiques à l'EPS 2, afin de pouvoir hiérarchiser les séquences de l'EPS 2 en termes de conséquences, et de mettre en évidence l'intérêt de parades adaptées pour limiter les rejets dans l'environnement.

Observation n° 30

L'IRSN considère que des études permettant la compréhension précise du déroulement d'un accident de dénoyage du combustible en piscine de désactivation doivent être réalisées. Ces études devraient permettre de mieux apprécier les risques associés au sein des EPS 2 d'EDF .

Observation n° 31

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF prenne en compte, à partir des EPS 2 VD1 REX N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300, l'ensemble des risques identifiés dans le référentiel accidents graves.

Observation n° 32

L'IRSN estime nécessaire qu'EDF examine, à partir des EPS 2 VD1 REX N4, VD3 REX 900 et VD3 REX 1300, les possibilités de défaillance de tous les « équipements nécessaires et utiles » identifiés dans le référentiel accidents graves en regard de leurs exigences et de leurs conditions d'utilisation.

L'IRSN considère qu'EDF devrait établir le lien entre la classification des équipements (utile ou nécessaire) et leur importance vis-à-vis des résultats de l'EPS 2.

Observation n° 33

Compte tenu de l'enjeu de sûreté associé à la maîtrise de la dépressurisation du circuit primaire, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF caractérise expérimentalement le comportement à long terme des lignes de décharge du pressuriseur en situation de battement prolongée à 160 bar. En fonction des résultats, EDF pourrait définir des exigences fonctionnelles sur l'ouverture des soupapes après un nombre très élevé de cycles mais néanmoins avant la rupture du circuit primaire induite par une fusion en pression.