

DIRECTION DES CENTRALES NUCLEAIRES

Montrouge, le 22 novembre 2013

Réf. : CODEP-DCN-2013-038780

**Monsieur le Directeur
Division Production Nucléaire
EDF
Site Cap Ampère – 1 place Pleyel
93282 ST DENIS CEDEX**

Objet : Etudes probabilistes de sûreté de niveau 2 dans le cadre du troisième réexamen de sûreté des réacteurs de 1300 MWe

- Réf. :**
- [1] Lettre ASN CODEP-DCN-2011-026918
 - [2] Lettre EDF D305513007828 SWR/JMS du 28/05/2013
 - [3] Lettre EDF D305513016441-SWR/INI du 28/06/2013
 - [4] Avis et recommandations du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires concernant les accidents graves et les études probabilistes de niveau 2 (EPS 2) relatifs aux réacteurs de 1300 MWe dans le cadre de leur troisième réexamen de sûreté, transmis par courrier CODEP-MEA-2013-019834 du 09/04/2013
 - [5] Lettre ASN CODEP-DCN-2013-005093 du 04/03/2013
 - [6] Lettre EDF ENSN120005 du 6 février 2012
 - [7] Technical report ASAMPSA2/WP2-3-4/D3.3/2013-35 - IRSN-PSN/RES/SAG 2013-0177
 - [8] Lettre ASN DEP-SD2 n° 500/2005 du 21 octobre 2005

Monsieur le Directeur,

Les études probabilistes de sûreté constituent une méthode d'évaluation des risques basée sur une investigation systématique des scénarios accidentels. Elles permettent d'obtenir une vue globale de la sûreté, intégrant aussi bien la tenue des équipements que le comportement des opérateurs. Dans le cadre des réexamens de sûreté, elles permettent de mettre en évidence les éventuels points faibles pour lesquels des évolutions tant de conception que d'exploitation peuvent être étudiées, voire jugées nécessaires.

Dans le cadre du troisième réexamen de sûreté des réacteurs de 1300 MWe, EDF a réalisé des études probabilistes de sûreté de niveau 1 (EPS1) pour identifier les séquences menant à la fusion du cœur et déterminer leurs fréquences. Les EPS1 ont été examinées par le groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires en 2012. À la suite de cet examen, l'ASN vous a fait connaître sa position et ses demandes par lettre en référence [5].

En prolongement de ces études probabilistes de niveau 1, EDF a réalisé une EPS de niveau 2 permettant d'évaluer la nature, l'importance et les fréquences des rejets hors de l'enceinte de confinement. Cette étude est la première EPS de niveau 2 réalisée pour les réacteurs à double enceinte. Elle permet d'évaluer le risque de rejets radioactifs dans l'environnement en cas de fusion du cœur faisant suite à des événements internes. L'étude a pour but d'apprécier le niveau de sûreté de ces réacteurs, 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.

Le 28 mars 2013, le Groupe Permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) s'est réuni à la demande de l'ASN afin de se prononcer sur les accidents graves et sur l'étude probabiliste de niveau 2 (EPS2) relatifs aux réacteurs de 1300 MWe dans le cadre de leur troisième réexamen de sûreté.

En ce qui concerne les études probabilistes de niveau 2, le GPR a plus particulièrement examiné, sur la base d'un rapport d'expertise préparé par l'IRSN, les points suivants :

- les méthodes utilisées ;
- les axes d'amélioration possibles de la sûreté des installations ;
- les besoins en matière de recherche et de développement.

Le GPR a été informé que l'étude probabiliste elle-même faisait l'objet d'une instruction complète par l'ASN et son appui technique et une synthèse de l'instruction lui a été présentée.

Le Groupe permanent d'experts a rendu son avis en référence [4] à l'issue de la réunion du 28 mars 2013.

Position de l'ASN

L'ASN estime que la démarche suivie par EDF pour réaliser son étude probabiliste de sûreté de niveau 2 des réacteurs de 1300 MWe est globalement cohérente avec la pratique internationale. L'ASN considère néanmoins que cette étude comporte quelques incertitudes et approximations et note qu'EDF a prévu d'apporter un nombre significatif d'améliorations. L'ASN estime que les résultats de cette étude apportent des enseignements dans le cadre de ce réexamen et que les axes d'amélioration identifiés sont pertinents. Toutefois, l'ASN rappelle que l'étude probabiliste de sûreté de niveau 2 doit apporter des éléments d'appréciation sur l'intérêt de modifications portant sur la limitation en fréquence des situations de rejets et également sur la limitation en amplitude de leurs conséquences. L'ASN considère que l'évaluation des rejets radioactifs dans l'environnement apportée par l'EPS2 n'est pas suffisamment précise.

Certains points soulevés au cours de l'instruction ont fait l'objet de positions et actions de votre part. Vous avez confirmé ces positions et actions par les lettres en références [2] et [3]. L'ASN considère que la réalisation de ces actions est nécessaire pour que l'EPS de niveau 2 puisse être considérée comme satisfaisante. Certaines de ces actions sont rappelées en annexes car l'ASN a considéré qu'elles devaient être complétées.

Par ailleurs, l'ASN considère que des actions complémentaires sont nécessaires pour prendre en compte des scénarios de dilution hétérogène.

Enfin, les évolutions de l'EPS de niveau 1 prévues pour tenir compte des modifications liées aux troisièmes visites décennales des installations et des modifications et améliorations de l'étude consécutives à son instruction (cf. lettre en référence [5]) auront un impact non négligeable sur les résultats de l'EPS de niveau 1 au niveau de la fréquence des états dégradés de l'installation (EDI) et donc sur les EPS de niveau 2. **Par conséquent, l'ASN considère que l'EPS de niveau 2 dite post-VD3 devra être modifiée pour tenir compte de l'évolution de l'EPS de niveau 1.**

Demandes de l'ASN

L'ASN vous demande d'inclure une évaluation plus précise des rejets radioactifs dans l'environnement pour les prochaines études probabilistes de niveau 2. Cette demande est détaillée en annexe 2.

Par ailleurs, l'ASN estime que des compléments et améliorations de l'EPS de niveau 2 méritent d'être apportés dans le cadre du troisième réexamen des réacteurs de 1300 MWe. Les demandes correspondantes figurent en annexe 1. D'autres compléments et améliorations pourront être apportés dans les EPS de niveau 2 effectuées ultérieurement, à l'occasion des prochains réexamens de sûreté. Ces derniers sont présentés en annexe 2.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de ma considération distinguée.

La directrice générale adjointe,

Signée par : Sophie MOURLON

Demandes relatives à l'EPS de niveau 2 réalisée dans le cadre du troisième réexamen des réacteurs de 1300 MWe

L'ASN estime que certains compléments ou améliorations méritent d'être apportés à l'occasion du troisième réexamen des réacteurs de 1300 MWe. Ces évolutions doivent être apportées, dans la mesure du possible, dans la première EPS post-VD3 de ces réacteurs. A défaut, compte tenu des délais nécessaires à leur prise en compte, certaines demandes ci-dessous pourront être apportées au plus tard avec la version de l'EPS post-VD3 correspondant au réexamen de sûreté du premier réacteur du « lot B » (réacteur de Flamanville 2).

A. Hypothèses et modélisation

A.1. Risques liés à la combustion de l'hydrogène

EDF a prévu le renforcement de l'alimentation électrique et des capacités d'extraction et de filtration d'air de l'espace entre enceintes (EDE). Toutefois, ces éléments ne tiennent pas compte de la possible présence d'hydrogène dans cet espace. EDF a prévu de réaliser une évaluation plus réaliste du risque de combustion d'hydrogène dans l'espace entre enceintes et de l'intégrer dans la prochaine EPS de niveau 2 des réacteurs de 1300 MWe au besoin. L'ASN considère important de pouvoir disposer d'un éclairage probabiliste du renforcement des capacités d'extraction et de filtration de l'espace entre enceintes afin de pouvoir estimer si cette amélioration apporte un gain significatif et de pouvoir confirmer l'absence de scénario inacceptable.

[D.1] Pour l'EPS post-VD3, l'ASN vous demande d'examiner le bien-fondé, vis-à-vis de la sûreté, des dispositions de collecte des fuites vers l'espace entre enceintes et du renforcement du système de mise en dépression EDE envisagés, en prenant en compte le risque de combustion de l'hydrogène dans cet espace. Dans ce cadre, l'ASN vous demande d'évaluer le risque de transfert d'hydrogène et de monoxyde de carbone dans l'espace entre enceintes en tenant compte de l'effet des conditions d'accident grave sur l'étanchéité des revêtements posés à l'intrados des enceintes internes.

Des séquences de l'EPS de niveau 2 renvoient vers d'autres arbres d'événements pour six états dégradés de l'installation (EDI) pour lesquels les calculs supports représentatifs ne mènent pas au dénoyage du cœur ou à la rupture de la cuve. Cependant certains d'entre eux présentent un risque de combustion d'hydrogène (scénarios de brèches intermédiaires, de petites brèches et de perte de refroidissement par le circuit secondaire).

L'ASN note que ces renvois ont été effectués afin de garantir le traitement de ces séquences et que la valorisation de certains matériels permettra de réduire le poids des séquences concernées. Toutefois, cela ne concernera pas les situations pour lesquelles les calculs supports conduisent au dénoyage du cœur sans aller jusqu'à la rupture de la cuve, mais pouvant entraîner une défaillance de l'enceinte interne par combustion de l'hydrogène. Aussi, l'ASN considère qu'il y a lieu de traiter de façon spécifique les situations qui peuvent entraîner une défaillance de l'enceinte par combustion de l'hydrogène lorsque les calculs supports de dégradation du cœur ne conduisent pas à la rupture de la cuve.

[D.2] Pour l'EPS post-VD3, l'ASN vous demande de traiter de façon spécifique les situations qui peuvent entraîner une défaillance de l'enceinte par combustion de l'hydrogène et pour lesquelles les calculs supports de dégradation du cœur ne conduisent pas à la rupture de la cuve.

L'ASN considère que la méthode 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, conduit à sous-estimer le risque de rejet dans l'environnement dû à ce mode de défaillance. L'ASN considère que les hypothèses retenues par EDF 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 sont trop optimistes et n'incluent pas les incertitudes liées aux phénomènes opérant dans le puits de cuve. De la même façon, l'ASN constate que la réduction de 10 % des pics de pression dans l'enceinte correspondant à une combustion adiabatique, isochore et complète de l'hydrogène (PAICC) lors de la phase où le corium est en cuve minore les probabilités de perte de confinement lorsque la valeur de ce pic est supérieure à 5,2 bar. L'ASN considère donc qu'il n'y a pas lieu de minorer de 10 % les pics de PAICC lors de la phase où le corium est en cuve.

[D.3] L'ASN vous demande, pour la version post-VD3 de l'EPS de niveau 2 des réacteurs de 1300 MWe, d'améliorer votre étude :

- en utilisant des modèles suffisamment détaillés (vis-à-vis du nombre de compartiments pris en compte) de l'enceinte interne et de l'espace entre enceintes ;
- 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'enceinte ;
- en considérant les valeurs des pics PAICC sans minoration ;
- 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 ;
- en réalisant une étude de sensibilité sur la fraction des gaz imbrûlés dans le puits de cuve et son impact sur l'accumulation d'hydrogène dans l'enceinte interne lors de la phase tardive de l'accident grave.

A.2. Transitoires thermohydrauliques

Pour certaines séquences telles que les petites brèches du circuit primaire, l'arrêt automatique des pompes primaires peut entraîner des difficultés pour dépressuriser le circuit primaire, ce qui peut allonger la durée de repli du réacteur. EDF n'a pas modélisé l'échec de la réalimentation de la bache du circuit d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG). L'ASN considère 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 bache ASG.

[D.4] Dans l'EPS post-VD3, pour l'étude des séquences de type petite brèche primaire avec arrêt automatique des pompes primaires, l'ASN vous demande de justifier que les délais dont disposent les opérateurs pour réaliser les actions de conduite sont compatibles avec la cinétique de vidange de la bache du circuit d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG) et de vérifier l'absence d'objectifs concurrents dans la conduite du transitoire.

A.3. Restauration des systèmes

EDF prend en compte la restauration de la turbine à combustion (TAC) après fusion du combustible. L'ASN considère que la restauration de ce matériel n'est pas correctement justifiée. Le temps moyen de récupération de ce matériel est incohérent avec le retour d'expérience des événements récents le concernant : le délai moyen de 12 heures basé sur un avis d'expert utilisé par EDF ne tient pas compte des délais d'indisponibilité des TAC déclarés entre 2009 et 2011, qui sont compris entre 3 et 102 jours.

EDF s'est engagée à fournir deux types de données de fiabilité en fonction de la durée des pannes (pannes longues et pannes courtes) et à associer à chacune d'elle un temps de réparation long et un temps de réparation court. Ces derniers seront quantifiés en tenant compte de toutes les défaillances observées sur les turbines à combustion (TAC) sur la période 2009-2011, y compris les plus difficiles à réparer.

[D.5] L'ASN vous demande de déterminer les temps de réparation à partir des données d'indisponibilité des TAC issues du retour d'expérience couvrant une période la plus étendue possible. Ces données devront être introduites dans l'EPS post-VD3.

B. Limites de l'EPS de niveau 2

L'ASN a pris note des modifications et compléments qu'EDF a prévu d'apporter à la prochaine EPS de niveau 2 des réacteurs de 1300 MWe dans le cadre de ses positions et actions qu'elle a transmises par ses lettres en références [2] et [3]. L'ASN considère que les faiblesses de l'étude actuelle doivent être précisées dans le rapport de synthèse de l'EPS de niveau 2 post-VD3.

[D.6] L'ASN vous demande de préciser les faiblesses connues de l'étude dans le rapport de synthèse de l'EPS de niveau 2 post-VD3. Ces faiblesses devront être résorbées ou faire l'objet d'une analyse approfondie avant le prochain réexamen.

Demandes relatives aux EPS de niveau 2 à réaliser pour les prochains réexamens de sûreté

C. Pour les prochaines EPS

C.1. Échéances

Les prochaines EPS de niveau 2 concernent les EPS réalisées pour déterminer les améliorations à prévoir à partir des réexamens suivants :

- VD2 N4 (réexamen associé aux deuxièmes visites décennales des réacteurs de 1450 MWe) ;
- VD4 900 (réexamen associé aux quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe) ;
- VD4 1300 (réexamen associé aux quatrièmes visites décennales des réacteurs de 1300 MWe).

Les demandes qui suivent sont à prendre en compte pour la réalisation des EPS mentionnées ci-dessus.

C.2. Domaine de couverture de l'EPS de niveau 2

L'ASN a pris note des positions et actions relatives aux EPS que vous avez prises dans le cadre du projet de poursuite du fonctionnement des réacteurs au-delà de leur quatrième réexamen (voir référence [6]) : c'est ainsi que vous avez prévu que les EPS « agressions » portent sur l'ensemble des états des réacteurs et des locaux comportant des équipements importants pour la sûreté (cibles « sûreté ») pouvant être atteints et de prolonger les EPS de niveau 1 par des EPS de niveau 2 portant sur un périmètre cohérent avec celui des EPS de niveau 1.

L'association WENRA des responsables des autorités de sûreté nucléaire d'Europe a adopté en 2008 des niveaux de référence de sûreté que l'ASN s'attache à faire mettre en œuvre. Pour les EPS, ces niveaux de référence prévoient la réalisation d'EPS couvrant plusieurs agressions internes (incendie et inondation) ou externes (séisme et conditions climatiques extrêmes).

Par ailleurs, un guide pour la réalisation et l'utilisation des études probabilistes de sûreté de niveau 2 (ASAMPSA2¹) en référence [7] a été publié par la Commission européenne sur le site www.asampsa2.eu. L'ASN considère que ce guide peut-être utilisé dès lors qu'il n'est pas contraire aux demandes du présent courrier.

L'ASN estime que les prochains réexamens de sûreté devront donc inclure des études probabilistes de sûreté prenant en compte au minimum les objectifs fixés par l'association WENRA et réalisées selon les préconisations du guide ASAMPSA2.

¹ Advanced Safety Assessment Methodologies : level 2 Probabilistic Safety Assessment

[D.7] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande de réaliser des EPS de niveau 2 prenant en compte tous les états de fonctionnement du réacteur et de la piscine de désactivation du combustible, les agressions internes (incendie, explosion, inondation) et les agressions externes (notamment le séisme, l'inondation, les conditions climatiques extrêmes, et l'incendie et l'explosion pour les sites où cela sera pertinent). Ces études seront proportionnées aux enjeux.

Les EPS de niveau 2 ont pour objectif d'apporter des éléments d'appréciation sur l'intérêt de modifications portant sur la limitation en fréquence des situations de rejets et également sur la limitation en amplitude de leurs conséquences. Par ailleurs, le référentiel « accidents graves » prévoit que le risque d'accidents de refroidissement et de vidange rapide de la piscine de désactivation doit être pris en compte dans l'évaluation probabiliste concernant les séquences de fusion du cœur avec perte précoce du confinement. Comme rappelé dans la demande D.7, l'ASN considère que les scénarios accidentels associés au refroidissement et à la vidange rapide de la piscine de désactivation du combustible doivent être intégrés à l'EPS de niveau 2 dès les prochaines EPS, en particulier pour les accidents de dénoyage du combustible.

[D.8] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande de réaliser des études du déroulement d'un accident de dénoyage du combustible en piscine de désactivation afin d'apprécier les risques et les conséquences associées.

L'EPS de niveau 2 ne traite ni des scénarios d'insertion de réactivité à la suite d'un cumul d'erreurs de rechargement, ni des situations de perte de confinement par un retour de criticité. Or ces scénarios ou situations se produisent alors qu'une, voire plusieurs barrières de confinement sont ouvertes ou sont dégradées. Le référentiel « accidents graves » tient compte entre autres du retour de criticité du corium et du risque de fusion du cœur dans les états d'arrêt lorsque le circuit primaire est ouvert avec du combustible présent en cuve. L'ASN estime que les scénarios de fusion du cœur en état d'arrêt avec le confinement initialement ouvert et non refermable avant la fusion du cœur et ceux avec percement du radier doivent être pris en compte dans l'EPS de niveau 2. De façon générale, l'ASN considère que tous les risques identifiés dans le référentiel « accidents graves » doivent être abordés dans l'EPS de niveau 2.

[D.9] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande de prendre en compte tous les risques identifiés dans le référentiel « accidents graves » dans les prochaines EPS de niveau 2.

C.3. Tenue mécanique des enceintes

Les scénarios étudiés par EDF sont fondés sur un taux de fuite de l'enceinte interne compris entre 1,5 et 3 % du volume par jour. Ces scénarios ne font pas apparaître de formation d'atmosphère explosible dans l'espace entre enceintes lorsque le corium est dans la cuve.

L'ASN considère que l'évaluation du risque de formation d'atmosphère explosible dans l'espace entre enceintes durant la phase précoce de l'accident n'est pas suffisante, notamment en cas de dégradation du taux de fuite de l'enceinte interne pendant l'accident.

[D.10] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4 et VD4 1300, l'ASN vous demande d'évaluer le risque de formation d'atmosphère explosible dans l'espace entre enceintes et de poursuivre les évaluations en considérant la possibilité d'une dégradation du taux de fuite de l'enceinte interne lorsque le corium est dans la cuve.

Lors de l'instruction de l'EPS, il a été mis 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. Dans ces cas, les pics de pression engendrés par la combustion dépassent la limite de tenue de l'enceinte externe. L'ASN note l'action décidée par EDF et consistant à effectuer une évaluation plus réaliste du risque de combustion d'hydrogène dans l'espace entre enceintes et à l'intégrer, si nécessaire, dans la prochaine EPS de niveau 2 des réacteurs de 1300 MWe. Cependant, l'ASN estime qu'il est nécessaire d'étudier les possibilités d'éviter la formation d'une atmosphère explosible dans l'espace entre enceintes lors de la phase tardive d'un accident grave.

[D.11] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4 et VD4 1300, l'ASN vous demande de poursuivre l'étude détaillée des situations pouvant conduire à la formation d'une atmosphère explosible dans l'espace entre enceintes, d'évaluer les risques associés et de définir, le cas échéant, les dispositions permettant d'éviter la formation d'atmosphère explosible dans l'espace entre enceintes lors de la phase tardive d'un accident grave.

L'ASN considère que la détermination des limites de tenue des enceintes de confinement utilisées dans l'EPS de niveau 2 des réacteurs de 1300 MWe ne tient pas suffisamment compte des incertitudes. L'ASN considère donc que des compléments sont nécessaires.

[D.12] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4 et VD4 1300, l'ASN vous demande de compléter l'évaluation des limites de tenue des enceintes de confinement :

- en évaluant par des calculs de thermohydraulique la pression de stabilisation dans l'enceinte interne de confinement en fonction de son taux de fuite et en concluant sur le risque d'une défaillance induite par une rupture localisée et franche de la paroi ;
- en incluant 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 ;
- en confortant la forme de la courbe de fragilité de l'enceinte, en particulier dans la zone de pression inférieure à 6 bars.

Par ailleurs, l'ASN considère que le risque de défaillance de l'enceinte interne par combustion d'hydrogène ne peut pas être considéré comme résiduel. L'ASN estime donc nécessaire qu'une évaluation détaillée des marges disponibles vis-à-vis du risque de défaillance des enceintes internes des réacteurs de 1300 MWe et N4 soit réalisée. Pour ce faire, l'ASN considère qu'il est nécessaire de tenir compte des dernières connaissances disponibles sur la cinétique de production d'hydrogène depuis la cuve ou le puits de cuve. Cette cinétique de production intervient pour déterminer le dimensionnement des recombineurs d'hydrogène (notamment vis-à-vis de leur nombre et de leur emplacement).

[D.13] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4 et VD4 1300, l'ASN vous demande de réaliser une évaluation détaillée des marges disponibles vis-à-vis du risque de défaillance des enceintes internes des paliers 1300 MWe et N4 après combustion d'hydrogène en prenant en compte les scénarios d'accident tels qu'ils ressortent des EPS de niveau 2, les connaissances issues des programmes 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 doit permettre de réévaluer la conception des recombineurs d'hydrogène sur une base de scénarios plus étendue que celle qui a servi à leur dimensionnement.

C.4. Confinement

L'étude réalisée par EDF dans le cadre du réexamen de sûreté associé aux VD3 1300 vise à évaluer les risques de perte du confinement à la suite d'un défaut d'isolement d'une traversée de l'enceinte ou de la perte d'intégrité de l'extension de la troisième barrière (circuits pouvant transporter des radioéléments en dehors de l'enceinte de confinement en cas d'accident grave) dans tous les états du réacteur. Ce champ couvre de façon satisfaisante les différentes situations. Cependant, en ce qui concerne la gravité des fuites, seules les fuites consécutives à un défaut d'isolement sont prises en compte dans l'EPS de niveau 2. Les fuites résultant d'inétanchéités sur des traversées fermées ne sont pas traitées. Les études visant à quantifier les fuites résultant d'inétanchéités de traversées soumises aux essais périodiques et à identifier les organes d'isolement sensibles ont été analysées lors de la réunion du groupe permanent d'experts consacrée au confinement des enceintes à double paroi. L'ASN considère que les versions ultérieures des EPS de niveau 2 devront présenter les résultats de ces études.

[D.14] L'ASN vous demande de prendre en compte dans les EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300 les défaillances du confinement dues à des inétanchéités préexistantes au niveau des joints des traversées ou de vannes d'isolement restées en position ouverte :

- **en présentant les résultats des quantifications des fuites résultant d'inétanchéités des traversées soumises aux essais périodiques et en distinguant les traversées conduisant à des fuites directes de celles conduisant à des fuites indirectes ;**
- **en évaluant la variabilité d'un réacteur à l'autre et selon le type d'arrêt, des probabilités moyennes d'ouverture des quatre pénétrations de type B² étudiées, et en tenant compte dans les calculs d'incertitudes associés à l'EPS ;**
- **en prenant en compte les durées d'ouverture du tampon d'accès matériel (TAM) et des sas constatées à la suite de l'application du dossier d'amendement (DA) dit « DA TAM » ;**
- **en vérifiant, pour les états d'arrêt où le circuit primaire est entre-ouvert ou ouvert, que l'EPS modélise bien la conduite prévue en application de l'approche par état (APE) pour l'isolement des traversées de type C³ et, si nécessaire, en modifiant les arbres de défaillances s'y rapportant et en tirant les conclusions sur les risques induits ; cette vérification devra être présentée dans la documentation associée à l'étude ;**

² Les pénétrations de « type B » désignent les traversées électriques, les dispositifs d'étanchéité des portes de sas (pour l'entretien et le personnel) et du tampon d'accès matériel (TAM), les traversées mécaniques munies de fonds pleins démontables avec joints (tube de transfert du combustible, traversées de gonflage et de dégonflage de l'enceinte).

³ Les traversées de « type C » désignent l'ensemble des traversées des systèmes autres que celles associées aux circuits secondaires eau-vapeur qui constituent l'extension de la 3^{ème} barrière de confinement.

- en vérifiant, pour les états où le circuit primaire est entre-ouvert ou ouvert, que l'EPS modélise bien la conduite APE prévue lors de la surveillance de la bache du circuit de traitement et de réfrigération des piscines (PTR), pour la fermeture des lignes de débit nul des pompes de moyenne pression du circuit d'injection de sécurité (RIS) et des lignes d'essais du circuit d'aspersion de l'enceinte (EAS) et, si nécessaire, en modifiant les arbres de défaillances s'y rapportant ; cette vérification, les modifications éventuellement apportées et les conclusions sur les risques devront être incluses dans la documentation associée à l'étude ;
- en réévaluant la probabilité d'échec de la mission de conduite de la fermeture des sas lorsque le réacteur est en arrêt normal sur générateurs de vapeur ou en arrêt pour intervention avec le circuit primaire fermé, en tenant compte du fait que cette action n'est pas prévue dans les règles de conduite.

Les scénarios considérés par EDF ne prennent pas en compte l'effet sur le risque hydrogène de la mise en service du système d'aspersion dans l'enceinte à un instant autre que celui préconisé par le Guide d'intervention en accident grave (GIAG). L'ASN estime nécessaire d'analyser ce type d'impact.

[D.15] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande d'évaluer l'effet d'un retard de la mise en service de l'EAS en lien avec la modélisation des erreurs humaines.

C.5. Evaluation des rejets

Pour la réalisation d'une EPS de niveau 2, l'AIEA préconise, dans sa norme de sûreté SSG-4⁴, de procéder à la détermination des fréquences et des conséquences des accidents de façon réaliste. L'ASN note qu'EDF a réalisé une évaluation des rejets avec des conservatismes importants. Ainsi, contrairement aux préconisations de l'AIEA et malgré la demande formulée dans ce sens par l'ASN dans le cadre du réexamen VD3 900 (cf. référence [8]), EDF ne procède pas à une évaluation réaliste des rejets.

L'AIEA préconise également de distinguer plusieurs instants particuliers pour le relâchement des produits de fission liés à la cinétique des accidents. Or, les catégories de rejets considérées par EDF ne rendent pas suffisamment compte de la chronologie des rejets alors que cette dernière a un fort impact sur les éventuelles actions de protection des populations qui peuvent être mises en œuvre par les pouvoirs publics. De plus, EDF a parfois regroupé des scénarios d'accidents dont les ordres de grandeur des conséquences radiologiques des rejets sont différents. L'ASN rappelle que l'objectif d'une étude probabiliste de sûreté de niveau 2 est de pouvoir apporter des éléments d'appréciation sur l'intérêt de modifications portant sur la limitation en fréquence des situations de rejets et également sur la limitation en amplitude de leurs conséquences. À ce titre, l'étude probabiliste de sûreté de niveau 2 doit inclure une évaluation assez précise des rejets radioactifs dans l'environnement.

[D.16] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande de procéder à une évaluation réaliste des rejets en réalisant des calculs de rejets spécifiques à l'EPS de niveau 2 afin de pouvoir hiérarchiser les séquences de l'EPS de niveau 2 en termes de conséquences et de mettre en évidence l'intérêt des parades permettant de limiter les rejets dans l'environnement.

⁴ IAEA Safety Standard N° SSG-4 – Development and application of level 2 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants – Vienna 2010 : “ *PSA [...] includes a systematic and realistic determination of accident frequencies and consequences.* ”

[D.17] A cette fin, l'ASN vous demande d'améliorer la définition des catégories de rejets, de façon à mieux rendre compte de la chronologie des rejets et de leur amplitude. Les scénarios d'accidents ne doivent être regroupés dans une même catégorie de rejets que si leurs conséquences radiologiques sont du même ordre de grandeur et si leurs chronologies de rejets présentent des profils similaires.

EDF a affiché son intention d'utiliser la démarche « coût-bénéfice pour la sûreté » dans le cadre du réexamen de sûreté associé aux troisièmes visites décennales des réacteurs de 1300 MWe. Lors de l'examen de la méthode « coût-bénéfice pour la sûreté » en 2007, EDF s'est engagée par lettre référencée ENSN070136 du 26 juillet 2007 (action n° 7) à ne pas limiter au premier mode de perte de confinement l'analyse « coût-bénéfice pour la sûreté », mais à intégrer aussi le risque d'un mode de perte de confinement ultérieur qui conduirait à une aggravation potentielle des conséquences (comme le percement du radier après une ouverture du dispositif d'éventage-filtration de l'enceinte). Aussi, l'ASN considère que cette méthode ne peut être utilisée que si l'EPS de niveau 2 traite le cumul des modes de défaillance menant à la même catégorie de rejets.

[D.18] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande de traiter le cumul des modes de défaillance (c'est-à-dire d'intégrer le risque d'un mode de perte de confinement ultérieur comme le percement du radier après une ouverture du dispositif d'éventage-filtration de l'enceinte) menant à la même catégorie de rejets et de modifier en conséquence les arbres d'événements.

C.6. Hypothèses et modélisation

EDF a utilisé un coefficient correspondant à la valeur médiane pour tenir compte de la géométrie de la brèche modélisée dans le circuit primaire et des valeurs représentant la géométrie de l'enceinte. Ces données utilisées dans les calculs effectués avec le code MAAP⁵ n'ont pas été suffisamment justifiées.

L'ASN estime nécessaire qu'EDF révisé le coefficient de décharge à la brèche utilisé dans les calculs et consolide les valeurs utilisées pour la modélisation géométrique de l'enceinte afin de s'assurer 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'ASN note qu'EDF s'est engagée à réviser le coefficient de décharge à la brèche utilisé dans le code MAAP pour les prochaines EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300.

[D.19] L'ASN vous demande de justifier le caractère enveloppe des valeurs utilisées pour la modélisation géométrique de l'enceinte retenues dans les EPS de niveau 2 réalisées dans le cadre des réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300.

⁵ Modular Accident Analysis Program

Le risque d'échauffement direct de l'enceinte est consécutif à une fusion du cœur suivi d'un percement de la cuve du réacteur lorsque le circuit primaire est à une pression élevée. Cette rupture de la cuve en pression conduit alors à une dispersion instantanée du corium dans l'enceinte. L'ASN estime que la méthode employée par EDF pour représenter dans son EPS2 le risque d'échauffement direct de l'enceinte, est acceptable. EDF s'est engagée à compléter l'étude du risque d'échauffement direct de l'enceinte par des études de sensibilité complémentaires, notamment vis-à-vis de la fraction de corium dispersée et des possibilités de renoyage, en cohérence avec la conduite préconisée dans le GIAG. Toutefois, l'ASN considère que l'étude ne permet pas de juger quantitativement les risques relatifs au déplacement de la cuve et à l'ébranlement des circuits primaire et secondaire associés à une rupture de la cuve en pression.

[D.20] À compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande d'évaluer tous les risques associés à une rupture de cuve en pression (notamment déplacement de la cuve et ébranlement des circuits primaire et secondaire).

EDF a utilisé une probabilité de 1 % pour le risque d'explosion de vapeur hors cuve. L'ASN considère que la valeur retenue n'a pas été suffisamment justifiée. La méthode utilisée ne permet pas d'appréhender le risque réel ni de le hiérarchiser.

EDF a prévu d'examiner la nécessité de réviser la probabilité forfaitaire introduite dans les EPS de niveau 2 pour l'explosion de vapeur et a indiqué qu'elle continuait les travaux pour conforter les chargements pris en compte en cas d'explosion de vapeur, au regard du niveau d'eau dans le puits de cuve qui sera retenu dans les prochains réexamens de sûreté.

[D.21] L'ASN vous demande de justifier la valeur retenue pour la probabilité d'explosion de vapeur dans les EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, compte tenu de l'option retenue par EDF vis-à-vis du noyage du puits de cuve.

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 découverture du cœur évite systématiquement l'entrée en accident grave et conduit à des rejets négligeables. L'ASN considère que cette hypothèse n'est pas suffisamment étayée.

EDF s'est engagée à étudier l'accroissement du risque hydrogène en cas de renoyage du cœur. Toutefois, l'ASN considère qu'il est également nécessaire d'étudier l'impact des différentes situations de renoyage du cœur (instant de renoyage et débit injecté) vis-à-vis de la dégradation de ce dernier y compris pour la production d'hydrogène.

[D.22] L'ASN vous demande d'étudier les différentes situations de renoyage du cœur (par exemple, injection d'eau par le circuit de contrôle volumétrique en cas de défaillance du circuit d'injection de sécurité) et leur impact sur la dégradation de ce dernier (en particulier en ce qui concerne la cinétique et la production d'hydrogène) dans les EPS de niveau 2 réalisées dans le cadre des réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300.

Toutes les hypothèses retenues par EDF pour modéliser les actions des opérateurs dans les calculs supports ne sont pas justifiées vis-à-vis du délai dont disposent les opérateurs pour réaliser les actions de conduite en tenant compte des autres actions qu'ils ont à effectuer.

EDF s'est engagée à corriger les incohérences relevées par l'IRSN dans les prochains calculs supports (arrêt d'une file EAS et délai pour exécuter les actions de la règle ECP4⁶ avant l'entrée en accident grave).

L'ASN note que la modélisation d'EDF conduit à une dépressurisation rapide du circuit primaire pour permettre de bénéficier de l'injection de sécurité par les accumulateurs avant le découverture du cœur et de retarder la dégradation de l'inventaire en eau du circuit primaire. Compte tenu de l'impact de la vitesse d'action des opérateurs sur la dépressurisation du circuit primaire et sur la cinétique d'injection d'eau par les accumulateurs, l'ASN estime que cette modélisation mérite une attention particulière afin de s'assurer qu'elle est réaliste.

[D.23] Pour les EPS de niveau 2 réalisées dans le cadre des réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande de réviser dans les études supports 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 optimiste).

L'ASN considère que l'approche développée par EDF, basée sur des logigrammes permettant d'affecter les séquences d'accidents issues de l'EPS de niveau 1 aux initiateurs de l'EPS de niveau 2, est pertinente. Toutefois, l'ASN constate que dans l'EPS de niveau 2 d'EDF, le regroupement de séquences introduit une imprécision qui est de l'ordre d'une dizaine d'heures pour un des scénarios de brèche intermédiaire. L'ASN estime nécessaire que les initiateurs de l'EPS de niveau 2 soient définis de manière précise de façon à distinguer les paramètres influant sur la progression de l'accident.

[D.24] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande de définir 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, ...).

Les arbres d'événements développés par EDF modélisent une grande partie des phénomènes physiques, du comportement des systèmes et des actions humaines caractéristiques des situations d'accident grave. Cependant, les incertitudes considérées par EDF dans les arbres d'événements sont partielles et ne reflètent pas toujours l'état des connaissances sur les phénomènes physiques et leur variabilité.

⁶ État de Conduite du circuit Primaire n° 4

[D.25] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande de compléter l'évaluation des incertitudes liées aux phénomènes physiques des accidents graves en tenant compte de l'état des connaissances les plus récentes.

La défaillance d'un certain nombre d'équipements nécessaires pour la gestion d'un accident grave n'est pas explicitement modélisée. De la même façon, certains équipements utiles pour la conduite identifiés dans le référentiel « accidents graves » (par exemple, les mesures de niveau d'eau dans les générateurs de vapeur, les mesures de la pression dans le circuit primaire, les systèmes de ventilation et la réalimentation de la bache ASG) ne sont pas modélisés dans l'EPS de niveau 2. L'ASN considère que les probabilités de défaillance des équipements nécessaires et utiles doivent être analysées. Ces défaillances doivent être modélisées si elles conduisent à un impact non négligeable sur le résultat de l'EPS de niveau 2.

[D.26] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande d'examiner les possibilités de défaillance de tous les équipements nécessaires ou utiles identifiés dans le référentiel « accidents graves » au regard de leurs exigences et de leurs conditions d'utilisation.

Dans son EPS de niveau 2, EDF considère une absence d'ouverture des soupapes du pressuriseur en cas de battement prolongé à 160 bars (absence d'ordre d'ouverture par les opérateurs).

[D.27] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande de tenir compte des résultats des dernières études sur le comportement à long terme des lignes de décharge du pressuriseur en situation de battement prolongée à 160 bar.

L'ASN considère qu'il est nécessaire de prendre en compte l'incertitude sur la pression d'ouverture des soupapes du pressuriseur à basse pression. Consécutivement aux évaluations complémentaires de sûreté post Fukushima, des modifications matérielles vont être apportées pour modifier le comportement de ces soupapes.

[D.28] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande de prendre en compte l'incertitude sur la pression d'ouverture des soupapes du pressuriseur à basse pression et d'en tenir compte dans les conclusions. L'EPS de niveau 2 devra par ailleurs permettre de quantifier le gain de sûreté qui serait apporté par une modification des têtes de ces soupapes visant à obtenir une dépressurisation plus rapide du circuit primaire.

Enfin, l'ASN considère que la probabilité d'échec retenue pour la mission de conduite de réalimentation de la bache PTR avant fusion du cœur n'est pas assez justifiée. L'équipe locale de crise peut avoir à prioriser d'autres actions de restauration si elle n'est pas suffisamment informée du temps dont elle dispose et du temps nécessaire pour permettre cette réalimentation. L'EPS de niveau 2 doit préciser les éléments à partir desquels la réalimentation de la bache PTR est modélisée et justifier qu'elle est réaliste compte tenu des guides mis en œuvre (guide d'actions des équipes de crise utilisé par l'équipe locale de crise ou guide d'intervention en accident grave utilisé par l'équipe de conduite). Dans ce cadre, EDF s'est engagée à analyser les risques de dépendance entre les actions réalisées avant et après la mise en œuvre du guide d'intervention en accident grave (GIAG).

[D.29] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande de justifier la probabilité d'échec retenue pour la réalimentation de la bache PTR avant fusion du cœur, notamment en montrant que l'effectif présent sur le site est suffisant pour effectuer cette mission de conduite.

Il existe actuellement une anomalie dans le code CATHARE⁷ ayant un impact sur la modélisation en thermosiphon. L'ASN considère donc qu'il est nécessaire qu'EDF vérifie que le code MAAP ne présente pas une anomalie analogue à CATHARE en thermosiphon.

[D.30] Avant la réalisation des prochaines EPS, l'ASN vous demande de vérifier que le code MAAP ne présente pas d'anomalie analogue au code CATHARE en thermosiphon.

C.7. Dilutions hétérogènes

L'ASN considère que des actions de R&D sont nécessaires pour une prise en compte réaliste de tous les scénarios de dilution hétérogène dans les EPS de niveau 2, y compris les dilutions inhérentes résultant des conséquences d'un événement initiateur qui n'est pas une dilution du réfrigérant du circuit primaire.

[D.31] A compter des EPS de niveau 2 réalisées pour les prochains réexamens VD2 N4, VD4 900 et VD4 1300, l'ASN vous demande d'approfondir le traitement des situations de dilution hétérogène en documentant de manière exhaustive les possibilités d'injection d'eau claire ou froide dans le cœur (dilutions hétérogènes externes et inhérentes) et en intégrant, dans les EPS de niveau 1 et 2, les scénarios pour lesquels un risque de prompte criticité ne pourrait pas être physiquement exclu.

⁷ Code Avancé de THermohydraulique pour les Accidents sur les Réacteurs à Eau