

Fontenay-aux-Roses, le 12 mai 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2023-00066

**Objet :** Réacteurs électronucléaires d'EDF de 1300 MWe – RP4 1300 – Instruction anticipée portant sur le noyau dur post-Fukushima.

**Réf. :** [1] Saisine ASN – CODEP-DCN-2022-051279 du 18 octobre 2022.  
[2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2019-013282 du 14 avril 2019.  
[3] Lettre ASN – CODEP-DCN-2018-035797 du 19 décembre 2018.

À la suite de l'accident survenu sur la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a prescrit à EDF par ses Décisions n° 2012-DC-0274 à 2012-DC-0292 datées du 26 juin 2012 la mise en place de « *dispositions matérielles et organisationnelles robustes (« noyau dur », noté ND)* » visant à gérer une situation accidentelle de perte totale des alimentations électriques et de la source froide affectant tous les réacteurs d'un site consécutivement à une agression extrême (dite agression ND) de type séisme, inondation, vent extrême, foudre, grêle ou tornade.

La mise en place du noyau dur vise, dans une telle situation (dite situation ND), à prévenir la fusion du combustible ou en limiter la progression, limiter les rejets radioactifs qui pourraient toutefois être issus de la fusion du combustible et permettre à l'exploitant d'assurer les missions qui lui incombent dans la gestion d'une crise. En particulier, le noyau dur doit garantir le maintien sous eau des assemblages de combustible entreposés ou manutentionnés dans les piscines de chaque réacteur. Le noyau dur est constitué d'un ensemble de moyens fixes robustes aux situations ND, pouvant être complétés par des moyens mobiles amenés par la force d'action rapide nucléaire (FARN)<sup>1</sup>.

Par sa saisine en référence [1], l'ASN sollicite l'avis de l'institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les principes retenus par EDF pour la conception et la conduite du noyau dur post-Fukushima sur les réacteurs de 1300 MWe afin d'identifier, avant son déploiement pérenne<sup>2</sup> sur ces réacteurs, prévu dans le cadre de leur

<sup>1</sup> La FARN est capable de déployer des moyens complémentaires sur un site accidenté en moins de 24 heures.

<sup>2</sup> Deux premières phases de renforcement des moyens matériels, organisationnels et humains, ont permis d'améliorer la robustesse de l'ensemble des réacteurs d'EDF vis-à-vis des situations ND. Au cours de la phase 1 dite « réactive », EDF a mis en place des moyens matériels et organisationnels, pour certains provisoires, permettant de renforcer les capacités d'appoint en eau et en électricité des sites. En particulier, EDF a créé la FARN. Les principales modifications matérielles en place à l'issue de la phase 2 sont, pour chaque réacteur, le raccordement d'un groupe électrogène à moteur diesel d'ultime secours (DUS), la création d'une nouvelle source d'eau ultime (SEU) permettant d'alimenter le circuit d'eau de secours du système de refroidissement des générateurs de vapeur et de réaliser un appoint à la piscine BK, ainsi que le renforcement de la protection du réacteur contre les inondations externes extrêmes.

quatrième réexamen périodique (RP4 1300), les évolutions nécessaires à l'atteinte des objectifs du ND précisés par l'ASN dans les Décisions n° 2014-DC-0394 à 0412 datées du 21 janvier 2014.

Plus particulièrement, et conformément à la saisine en référence [1], l'expertise de l'IRSN a porté sur :

- l'architecture du ND 1300 et son périmètre, tant pour la prévention de la fusion du cœur que pour la mitigation d'un accident grave en situation ND ;
- les exigences et critères de conception mécaniques des nouveaux matériels du ND 1300, pour la prévention et la mitigation d'un accident grave, en situation ND ;
- les exigences de qualification pour les systèmes, structures et composants (SSC) du ND 1300 nouveaux et existants pour la prévention et la mitigation d'un accident grave, en situation ND ;
- les principes de conduite du ND 1300 pour la prévention de la fusion du combustible dans le bâtiment réacteur (BR) et le bâtiment combustible (BK) en situation ND ;
- les règles, méthodes et hypothèses retenues pour les études neutroniques et thermohydrauliques support à la conduite du ND 1300 pour la prévention de la fusion du cœur en situation ND.

Cette expertise s'inscrit dans la continuité de celles déjà menées sur les réponses d'EDF aux prescriptions de l'ASN susmentionnées, tout en tenant compte des spécificités des réacteurs de 1300 MWe. Par ailleurs, l'ASN souhaite que l'IRSN mentionne, parmi les conclusions de la présente expertise, celles qui seraient directement transposables des réacteurs de 1300 MWe aux réacteurs de 900 MWe, et qui pourraient conduire à des demandes complémentaires sur ce palier.

L'IRSN présente ci-après les conclusions de son expertise sur ces différents points, et précise en préalable les objectifs du ND et les hypothèses d'études qu'il a retenus pour son analyse. **Le présent avis constituant un avis anticipé sur le noyau dur des réacteurs de 1300 MWe, l'IRSN ne préjuge pas des demandes complémentaires qui pourraient être issues des instructions à venir dans le cadre du RP4 1300.**

## 1. OBJECTIFS DU NOYAU DUR ET HYPOTHÈSES D'ÉTUDES

Pour rappel, l'ASN considère que la définition du ND doit répondre aux principaux objectifs suivants :

- éviter autant que possible qu'une agression ND ne conduise à un accident grave en garantissant le respect des trois fonctions fondamentales de sûreté que sont la maîtrise de la réactivité, le refroidissement des assemblages de combustible et le confinement des matières radioactives ;
- néanmoins permettre la mitigation d'un accident grave en cas de dégradation de la situation en assurant notamment l'évacuation de la chaleur résiduelle du réacteur en dehors de l'enceinte de confinement pour limiter sa montée en pression et assurer ainsi son intégrité.

Pour assurer la sûreté de l'entreposage des assemblages de combustible dans la piscine BK, le noyau dur doit garantir l'absence de découverture de ces derniers à la suite d'une agression ND, et ce avec un haut niveau de confiance de manière à exclure le risque d'une fusion de combustible dans le BK. En situation ND, EDF prévoit tout d'abord de garantir l'isolement de toutes les lignes (non-ND) dont la rupture à la suite de l'agression ND causerait une vidange de la piscine BK, puis d'assurer un appoint en eau à la piscine BK en ébullition du fait de la perte de son système de refroidissement (non-ND).

Les matériels du noyau dur doivent pouvoir fonctionner pendant une durée de 15 jours, sans nécessiter d'intervention de maintenance impliquant leur interruption. Lorsque la fonction assurée par ces matériels est nécessaire au-delà cette durée, il doit être démontré que des substitutions fonctionnelles sont possibles, ou alors que les matériels concernés conservent leur aptitude à assurer la fonction sur toute la durée requise.

Le noyau dur doit être conçu de manière à avoir un niveau de confiance élevé dans sa capacité à assurer ses fonctions sur tout la durée requise à la suite d'une agression ND. Ceci impose de retenir pour les SSC constitutifs du noyau dur des exigences adaptées pour leur conception, leur fabrication et leur surveillance en exploitation,

et de s'assurer de la robustesse de ces SSC-ND aux sollicitations liées aux agressions ND et aux effets induits associés (inondation, chute de charge ...).

Enfin, concernant les hypothèses à retenir dans les études d'accident pour justifier la prévention de la fusion du cœur en situation ND, pour l'IRSN, deux cas doivent être considérés pour définir les dispositions et les stratégies de conduite ND :

- le cas avec chute partielle des grappes de commande (TGI-X) et circuit primaire « intègre » à la suite de l'agression ND, qui constitue le cas de référence pour le dimensionnement des moyens ND 1300, en cohérence avec la demande formulée par l'ASN dans la lettre [2] ;
- le cas où, à la suite de l'agression ND, la rupture possible de petits piquages du circuit primaire conduirait à une taille de brèche dont le diamètre équivalent pourrait aller jusqu'à 1 pouce, taille de brèche prise en compte par EDF pour définir sa stratégie de conduite « primaire non intègre ».

## 2. PÉRIMÈTRE ET EXIGENCES DE CONCEPTION DU NOYAU DUR

L'analyse de l'IRSN s'est concentrée sur les principes de conduite du noyau dur et les dispositions ND à enjeu, sélectionnées pour leur importance ainsi que pour les différences de conception pressenties du ND 1300 par rapport au ND 900. Les dispositions ainsi identifiées sont :

- la disposition d'évacuation ultime de la chaleur de l'enclaustré (EAS-ND) qui participe à la prévention de la fusion du cœur en situation ND en permettant notamment d'injecter à basse pression l'eau borée contenue dans la bêche du système de traitement et de refroidissement des piscines (PTR) et, si la fusion du cœur (ou accident grave – AG) ne peut être évitée, constitue le principal moyen de mitigation de l'AG en permettant l'évacuation de la chaleur du BR *via* sa connexion à la source froide ultime (SFu) ;
- la disposition d'injection aux joints des pompes primaires (IJPP-ND) qui permet, en situation ND, d'injecter à haute pression l'eau borée contenue dans la bêche PTR dans le circuit primaire au niveau des joints des pompes primaires, pour garantir leur intégrité et assurer la maîtrise de la réactivité lors du refroidissement du réacteur jusqu'aux conditions permettant l'injection de l'eau borée par les accumulateurs du système d'injection de sécurité (RIS) puis par l'EAS-ND ;
- l'alimentation en eau de secours des générateurs de vapeur (ASG-ND) qui doit garantir, lorsque le réacteur est initialement dans un état où le circuit primaire est pressurisable, l'évacuation de la puissance résiduelle par les circuits secondaires en conservant l'intégrité du circuit primaire si celle-ci n'a pas été affectée par la situation ND ;
- le circuit d'appoint ultime en eau brute (SEG), qui est utilisé à la fois pour réalimenter la bêche ASG-ND et pour maintenir un niveau d'eau suffisant dans la piscine BK. De plus, dans les états du réacteur où les piscines BR et BK sont en communication, il permet l'appoint en bore par l'unité mobile de borification (UMB) de l'eau de la piscine BR lorsque des assemblages de combustible sont présents dans la cuve ;
- la distribution électrique du ND et le contrôle-commande (CC-ND et DE-ND), supports de toutes les dispositions ND.

### 2.1. ANALYSE DE LA CONCEPTION DES DISPOSITIONS DU ND

#### 2.1.1. Disposition d'évacuation ultime de la chaleur de l'enclaustré (EAS-ND)

La mise en œuvre de la disposition EAS-ND en accident grave conduit à véhiculer hors de l'enclaustré de confinement des effluents fortement radioactifs<sup>3</sup>. Les fuites externes sur ces portions de la disposition, au-delà des rejets d'activité dans l'environnement associés, peuvent remettre en cause le bon fonctionnement de la

<sup>3</sup> Une portion de circuit EAS-ND est située dans le bâtiment des auxiliaires de sauvegarde (BAS) du palier 1300 MWe, et dans le bâtiment combustible (BK) du palier 900 MWe.

disposition EAS-ND sur sa durée de mission d'un an. Ainsi, des moyens permettant la gestion de telles fuites (détection, collecte et réinjection dans le BR) ont été définis par EDF pour les réacteurs de 1300 MWe, comme pour les réacteurs de 900 MWe. Or l'IRSN a constaté que, si la réinjection des effluents fait bien partie de la liste des SSC du noyau dur sur le palier 1300 MWe, cela n'est pas le cas sur le palier 900 MWe. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 1 présentée en annexe 1.**

Concernant les exigences de conception mécaniques des SSC-neufs de l'EAS-ND, les exigences associées à la pompe et à l'échangeur du palier 1300 MWe, identiques à celles retenues pour ces équipements sur le palier 900 MWe (RCC-M niveau 2<sup>4</sup>, Q2), **n'appellent pas de remarque**. De même, l'IRSN estime satisfaisant le niveau de qualité (RCC-M niveau 2, Q2) retenu pour les deux vannes manuelles situées sur la ligne d'essai vers la bêche PTR de la pompe EAS-ND, qui jouent un rôle important dans la limitation du risque de bipasse du confinement *via* l'événement de cette bêche en AG. EDF a confirmé que l'étanchéité interne de ces vannes est requise après un séisme ND, mais l'IRSN estime que les critères mécaniques retenus par EDF pour vérifier le respect de cette exigence dans le cadre du dimensionnement de ces vannes (critères de niveau D du RCC-M)<sup>5</sup> ne permettent pas de s'en assurer. **Les exigences à retenir pour les équipements neufs du ND sont examinées au § 2.2.3.**

Enfin, concernant l'architecture de l'EAS-ND, EDF s'est engagé au cours de l'expertise (voir l'engagement n° 1 présenté en annexe 2) à modifier, pour le palier 1300 MWe comme pour le palier 900 MWe, l'emplacement de la connexion de la nouvelle ligne EAS-ND sur la ligne existante EAS afin d'améliorer l'indépendance entre ces deux systèmes, **ce qui est satisfaisant**.

### 2.1.2. Disposition d'injection d'eau borée au niveau des joints des pompes primaires (IJPP-ND)

L'IRSN considère que la mise en œuvre de l'IJPP-ND constitue une avancée notable pour la sûreté et estime pertinente la technologie retenue par EDF pour la nouvelle pompe d'injection (PIJ-ND), qui permet d'injecter à haute pression de l'eau borée dans le circuit primaire dès le début du transitoire. Cette pompe volumétrique à piston est simple et compacte, ce qui devrait lui conférer un niveau élevé de fiabilité intrinsèque en situation ND.

Dans la stratégie de conduite « primaire intègre », le maintien d'un niveau pressuriseur donné permet, selon EDF, et grâce à l'IJPP, de garantir la sous-criticité du cœur lors du refroidissement du circuit primaire. Cependant, le niveau de débit de fuite au retour des joints des pompes primaires retenu dans l'étude neutronique en support à cette justification (voir le § 4) ne correspond pas à la valeur maximale pouvant être autorisée en fonctionnement normal, cette valeur pouvant par ailleurs augmenter à la suite d'un séisme ND. Or EDF n'a pas présenté à ce jour d'élément pour caractériser cet effet potentiel d'un tel séisme et ne prévoit pas d'inclure dans le périmètre du noyau dur la mesure du débit de retour des joints. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 2 présentée en annexe 1.**

### 2.1.3. Disposition d'alimentation en eau de secours des générateurs de vapeur (ASG-ND)

Sur les réacteurs de 1300 MWe, EDF a choisi d'assurer en situation ND, à court et moyen termes, l'alimentation en eau de secours des générateurs de vapeur par les deux turbo-pompes (TPS) actuelles du système ASG qui alimentent chacune deux des quatre GV et sont actionnées par la vapeur produite par ces derniers. Toutefois, le bon fonctionnement des TPS ASG nécessite que tous les matériels qui assurent l'admission de la vapeur au niveau de la turbine fonctionnent correctement et que la température dans leur local soit maîtrisée par le système de ventilation dédié (des renforcements de ce système au titre du noyau dur sont en cours d'étude par EDF). En outre, ces TPS doivent être rendues robustes aux agressions ND, et leur qualification aux conditions d'ambiance induites dans le BK, où elles sont situées, doit être démontrée. **Ainsi, l'intégration des deux TPS ASG**

<sup>4</sup> RCC-M : règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires des réacteurs à eau sous pression. Ce code comporte trois niveaux (dans l'ordre du plus au moins contraignant). Le niveau appliqué au matériel tient compte de la fonction de sûreté de l'équipement, et, le cas échéant, de l'inventaire radioactif ou des conditions de fonctionnement.

<sup>5</sup> EDF retient, pour les équipements, différents niveaux de critères mécaniques B, C ou D en fonction des exigences associées aux équipements. Ces critères traduisent les marges à l'égard des dommages de déformation excessive et d'instabilité plastique.

**dans le ND 1300 s'éloigne du principe de conception du noyau dur envisagé initialement par EDF, à savoir un noyau dur simple, intrinsèquement robuste et fiable.**

À plus long terme, les TPS ASG ne pouvant fonctionner une fois le réacteur refroidi, EDF prévoit de démarrer la motopompe (MPS) du système ASG de la voie A. Cette MPS ASG permet d'alimenter uniquement les deux GV de cette voie. Compte tenu des attendus susmentionnés concernant la justification de la fiabilité des TPS ASG en situation ND et pour permettre, y compris à court terme, de substituer en cas de besoin indifféremment l'une ou l'autre des TPS par la MPS de la même voie, l'IRSN a questionné EDF sur les difficultés qui seraient associées à l'introduction de la MPS voie B dans le noyau dur. Les éléments transmis en réponse ne montrent pas selon l'IRSN de difficulté technique majeure, mais « *à ce stade, EDF n'est pas favorable à l'intégration dans la disposition ASG-ND de la MPS ASG voie B en sus de celle de la voie A, au regard du surcroît de modifications que cela générerait notamment vis-à-vis des fonctions support* ». **Néanmoins, l'IRSN note qu'EDF poursuit la vérification de la robustesse aux agressions ND de chacune des deux MPS, ce qui est positif.**

Enfin, EDF s'est engagé au cours de la présente expertise à rendre manœuvrables depuis la salle de commande les vannes permettant le réglage du débit d'alimentation en eau des GV par les TPS ASG, ainsi que les vannes permettant de régler la vitesse de refroidissement du réacteur (voir les engagements n° 2 et n° 3 présentés en annexe 2), **ce qui est satisfaisant.**

#### **2.1.4. Disposition d'appoint ultime en eau des GV et de la piscine BK (SEG)**

Sur le palier 1300 MWe, le poste de vannage du SEG est situé dans le BK, alors qu'il est implanté dans un ouvrage de génie civil dédié sur le palier 900 MWe. Ce choix d'implantation permet selon EDF de limiter la longueur des tuyauteries nécessaires à l'alimentation de la bache ASG-ND et à l'appoint en eau de la piscine BK, toutes deux situées dans le BK. L'IRSN en convient, mais il souligne que cela impose, pour la conception de la disposition SEG et la vérification des chemins d'accès du personnel au poste de vannage, de tenir compte des contraintes associées à l'ébullition de l'eau de la piscine BK (conditions d'ambiance) et aux effets induits par l'agression ND dans le BK (inondation interne et RTHE notamment). **EDF a indiqué que des études sont en cours sur ces sujets.**

En outre, EDF a fait le choix de raccorder la disposition SEG sur une ligne existante qui permet également, hors situation ND, l'appoint en eau à la piscine BK par le système de distribution d'eau déminéralisée (SED) et le système d'appoint en eau brute également utilisé en cas d'incendie (JP). Ce tronçon commun aux systèmes d'appoint SED, JP et SEG est connecté à la crosse de la tuyauterie d'aspiration PTR pour assurer son conditionnement thermique nécessaire pour réaliser, au plus tard 15 jours après l'agression ND, la reprise du refroidissement de l'eau de la piscine en boucle fermée *via* la disposition PTRbis apportée sur site et mise en œuvre par la FARN. Ainsi, une défaillance au niveau de ce tronçon commun entraînerait un risque de découverture à terme des assemblages entreposés dans la piscine BK et rendrait également impossible le démarrage du PTRbis en substitution du SEG. Pour l'IRSN, des exigences renforcées doivent donc être définies pour ce tronçon commun, **ce qui fait l'objet de la recommandation n° 3 présentée en annexe 1. Pour les réacteurs pour lesquels une partie de ce tronçon sera remplacée, les nouvelles tuyauteries devront respecter les exigences à retenir pour les équipements neufs du ND examinées au § 2.2.3.**

Enfin, sur certains sites, en fonction de la solution retenue pour leurs sources d'eau ultime (SEU), la conception du SEG n'est pas encore figée. À titre d'exemple, pour les sites pour lesquels l'eau est prélevée dans des bassins, EDF n'a pas encore décidé de l'intégration ou non d'un système de filtration au niveau du poste de vannage et la conception de la pompe SEG nécessaire pour certains sites n'est également pas finalisée. **À ce sujet, si l'IRSN convient que le choix d'EDF de retenir une motopompe à rotor noyé présente des avantages, sa conception et les moyens de surveillance de son fonctionnement devront être justifiés et confortés par une qualification adaptée (notamment pour la robustesse au séisme et aux particules pouvant charger l'eau de la SEU).**

#### **2.1.5. Distribution électrique et Contrôle-commande ND**

Pour l'alimentation électrique du noyau dur, EDF prévoit que le diesel d'ultime secours ND (DUS) alimente le tableau LHC qui viendra lui-même alimenter les tableaux électriques secourus LHA et LHB, sur lesquels sont

connectées les dispositions ND. Les tableaux LHA/LHB étant déjà ceux de la distribution électrique non-ND, ceci ne permet pas de se prémunir contre un éventuel mode commun entre ces deux distributions électriques. Au cours de l'expertise, EDF a précisé que ce choix est motivé par le nombre d'actionneurs à réalimenter sur les réacteurs de 1300 MWe et l'encombrement des locaux. L'IRSN convient de ces difficultés, qui impliquent d'inclure les tableaux LHA et LHB dans la distribution électrique ND, et estime acceptable la distribution électrique ND proposée par EDF à date. **L'IRSN souligne cependant que la conception de la distribution électrique n'est à ce jour pas stabilisée.**

Pour réaliser les fonctions de contrôle-commande du noyau dur, EDF prévoit d'une part de valoriser des parties existantes du contrôle-commande, et d'autre part de créer un nouveau système de contrôle-commande dédié aux équipements nouveaux du ND. La valorisation d'une partie du contrôle-commande existant nécessitera des modifications qui ne devront pas défiabiliser les fonctions de protection du réacteur. En particulier, EDF s'est engagé à préciser la nature et les modalités de mise en œuvre des modifications de la séquence de contrôle-commande assurant les délestages / relestages des actionneurs électriques et a pris à ce sujet deux engagements (les engagements n° 4 et n° 5 présentés en annexe 2), **que l'IRSN estime satisfaisants.**

## 2.2. LISTE DES SSC-ND ET EXIGENCES ASSOCIÉES AUX ÉQUIPEMENTS

### 2.2.1. Liste des dispositions SSC-ND

Hormis sur quelques aspects détaillés ci-après, l'IRSN considère que, pour les paliers 1300 MWe et 900 MWe, l'identification par EDF des fonctions à qualifier aux exigences ND et la liste des SSC-ND associés sont globalement satisfaisantes.

Comme déjà mentionné au § 2.1.1, l'IRSN considère que la réinjection des effluents du BK vers le BR sur le palier 900 MWe doit être intégrée à la liste des SSC-ND (voir la recommandation n° 1). De plus, au cours de l'expertise, l'IRSN a constaté qu'un certain nombre d'équipements n'étaient pas intégrés à la liste des SSC-ND. Selon les paliers de réacteurs, ceci concerne notamment les accumulateurs du système RIS, certains systèmes supports aux dispositions ND, des organes ayant un requis d'isolement du circuit primaire, des équipements nécessaires au confinement des matières radioactives dans l'enceinte. **Pour tous ces équipements, EDF a pris l'engagement de compléter les listes des SSC-ND pour les deux paliers de réacteurs, ce qui est satisfaisant.**

Concernant les dispositions permettant d'assurer la mitigation d'un AG en situation ND, la complétude des listes des SSC-ND a été examinée par l'IRSN qui considère que, sur le principe, les équipements définis comme nécessaires en AG doivent être aptes à fonctionner en cas d'AG survenant à la suite d'une situation ND. En particulier, l'IRSN considère que l'instrumentation située dans le puits de cuve devrait faire partie de la liste des SSC-ND, cette mesure étant la plus adaptée pour détecter l'instant de percée de la cuve. Sur ce point, les études d'EDF sont en cours.

De manière générale, la liste des SSC-ND du palier 1300 MWe n'est pas encore complètement figée à ce stade.

### 2.2.2. Examen des exigences de qualification des matériels

L'IRSN a examiné la démarche générale de qualification ND ainsi que sa déclinaison sur quelques équipements du palier 900 MWe, en l'absence d'élément disponible à ce stade sur le palier 1300 MWe. Pour ce qui concerne la démarche, EDF distingue les équipements nouveaux du noyau dur qui feront l'objet d'une qualification, des équipements existants du noyau dur pour lesquels il prévoit de vérifier que leurs conditions de fonctionnement en situation ND peuvent être couvertes par le domaine de qualification initiale, en autorisant le cas échéant une relaxation de certaines exigences, avant de conclure à la nécessité de remplacer le matériel. Pour le palier 900 MWe, aucune relaxation n'a toutefois été retenue à ce jour pour les SSC-ND existants, **ce que l'IRSN estime satisfaisant.** Pour le palier 1300 MWe, EDF justifiera les éventuelles relaxations qui seraient retenues.

Par ailleurs, EDF s'est engagé à préciser, pour chacun des paliers de réacteurs, les équipements pour lesquels les profils de qualification initiale (pression, température, irradiation ...) ne seraient pas enveloppes de ceux induits

par les situations ND, ainsi que la liste des équipements pour lesquels une qualification par analyse n'a pas pu être obtenue et qui nécessite donc la réalisation d'essais. **L'IRSN estime ces engagements satisfaisants.**

**Enfin, l'IRSN rappelle que l'ASN a demandé [3] à EDF de transmettre, en amont de la valorisation de ces équipements dans le noyau dur, une synthèse des résultats de la qualification réalisée.**

### 2.2.3. Exigence de conception mécanique des SSC-ND neufs

L'IRSN considère que les soudures constituent un point sensible dans la fabrication des équipements et leur montage sur site, qui pourrait remettre en cause la fonctionnalité d'un équipement après un séisme ND (SND). À ce titre, il apparaît nécessaire qu'EDF réalise des contrôles volumiques à 100 % des soudures des SSC-ND neufs et applique des critères d'acceptation des défauts en adéquation avec le haut niveau de confiance requis sur la disponibilité de ces équipements en situation ND. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 4 présentée en annexe 1.**

De plus, l'IRSN estime que les exigences d'opérabilité et de capacité fonctionnelle doivent être retenues pour vérifier la tenue au SND des équipements mécaniques des dispositions ND et il souligne que le respect de ces exigences est garanti par l'application de critères de niveau B ou C du RCC-M. Or EDF a retenu, pour certains SSC-ND neufs, des exigences d'intégrité et leur applique des critères de niveau D du RCC-M, ce qui ne permet pas de garantir le respect de la limite d'élasticité des matériaux constitutifs de l'équipement. Au regard de l'importance des fonctions qu'ils assurent en situation ND, l'IRSN estime que la conception des SSC-ND neufs doit être telle qu'un séisme ND ne produise aucune déformation irréversible de ces SSC. **Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 5 présentée en annexe 1.**

### 2.2.4. Exigence de fiabilité des SCC-ND

L'IRSN a analysé les compléments apportés par EDF au cours de l'expertise en réponse à la demande, formulée par l'ASN dans la lettre [3], d'examiner le retour d'expérience sur les équipements existants faisant partie du noyau dur afin de s'assurer que la fiabilité de ces équipements est compatible avec le haut niveau de confiance attendu dans leur disponibilité en situation ND. À cet égard, EDF a proposé au cours de l'expertise une démarche d'analyse de la fiabilité des SSC-ND existants et nouveaux et s'est engagé à transmettre, d'ici fin 2023, la liste des équipements concernés et le calendrier de transmission des analyses de fiabilité, **ce qui est satisfaisant.**

## 3. STRATÉGIES DE CONDUITE ND

Dans son dossier, EDF propose deux stratégies de conduite élaborées pour assurer le repli du réacteur lorsque l'agression extrême a provoqué une situation de perte totale de la source froide (dite « H1 ») ou de perte totale des alimentations électriques (dite « H3 ») qui peut être cumulée à une faible fuite :

- une stratégie dite conduite « primaire intègre », qui sera appliquée lorsque le circuit primaire est intègre ou présente de faibles fuites. La stratégie retenue est une conduite ND « douce »<sup>6</sup>, valorisant la PIJ-ND ;
- une stratégie dite conduite « primaire non intègre », qui sera appliquée pour des situations présentant des fuites plus importantes. La stratégie retenue est une conduite ND « dure »<sup>7</sup>.

Les principes de conduite associés à la conduite ND proposée par EDF sur le palier 1300 MWe ainsi que les informations afférentes suscitent les remarques suivantes de l'IRSN.

<sup>6</sup> Il s'agit d'un repli avec une vitesse de refroidissement lente adaptée à un état thermohydraulique de l'installation peu dégradé : la vitesse de refroidissement mise en œuvre par les opérateurs est ajustée de telle manière que la contraction du volume d'eau primaire soit compensée par l'appoint en eau borée injecté par la PIJ-ND.

<sup>7</sup> Il s'agit d'un repli avec une vitesse de refroidissement plus rapide adaptée à un état thermohydraulique de l'installation plus dégradé.

### 3.1. INFORMATIONS ND

À la suite de la réunion du groupe permanent pour les réacteurs nucléaires relative à la conduite du noyau dur tenue en 2017, l'ASN avait demandé [2] que les informations relatives à l'activité des GV, à l'inventaire en eau du circuit primaire, ainsi qu'à la sous-criticité du cœur, qui sont nécessaires à la connaissance de l'état de l'installation, soient des informations ND. Elle avait en outre demandé de justifier pourquoi les mesures de température analogiques des piscines BK et BR, ainsi que la mesure du niveau d'eau dans la piscine BR n'étaient pas retenues en tant qu'informations ND. Enfin, elle avait demandé que la démarche d'identification des informations ND nécessaires à la mise en œuvre des stratégies de conduite ND soit étendue à tous les domaines d'exploitation du réacteur. EDF ayant limité sa démarche d'identification des informations ND aux états fermés du réacteur et n'ayant pas apporté de réponse étayée aux autres points, **l'IRSN estime que les réponses d'EDF aux demandes formulées par l'ASN ne sont pas satisfaisantes.**

### 3.2. ORIENTATION DES OPÉRATEURS VERS LA CONDUITE ND

L'application de la conduite ND nécessite, après la survenue d'une agression extrême, que l'équipe de conduite soit en mesure de déterminer que l'état de l'installation relève de la conduite ND ; la conduite incidentelle et accidentelle classique doit dans ce cas être abandonnée. Ainsi, EDF prévoit d'intégrer de nouveaux critères d'orientation vers la conduite ND.

En particulier, EDF retient deux tests basés respectivement sur la présence concomitante des informations « séisme ND » et « signal H3-ND », ou des informations « séisme ND » et « signal H1-ND ». En effet, la présence concomitante d'un signal « séisme ND » et d'un signal symptomatique d'un désordre fonctionnel de l'installation caractérisé par le diagnostic d'une situation « H1 » ou « H3 » (réalisé avec une instrumentation ND) est significative d'un besoin de passage en conduite ND. De plus, EDF s'est engagé au cours de l'expertise (voir les engagements n° 6 et n° 7 présentés en annexe 2) à compléter si nécessaire les critères d'orientation vers la conduite noyau dur afin que les opérateurs soient réorientés en conduite ND dès lors que la conduite accidentelle « classique » n'est plus applicable, **ce qui est satisfaisant.**

### 3.3. STRATÉGIES RETENUES DANS LES ÉTATS COUVERTS PAR LA CONDUITE ND

Les principes de la stratégie de conduite ND « dure » ont été expertisés dans le cadre de la réunion du groupe permanent pour les réacteurs nucléaires relative à la conduite du noyau dur tenue en 2017 et jugés acceptables.

Compte tenu de la mise en œuvre de la PIJ-ND, EDF a défini, pour les situations thermohydrauliques peu dégradées, une conduite « douce » basée sur l'atteinte en début de stratégie d'un niveau d'eau élevé dans le pressuriseur (seuil fixé à 50 %). Ce niveau sera conservé tout au long de la phase de refroidissement du réacteur, précédant la dépressurisation par ouverture d'une ligne de décharge du pressuriseur (LDP). Cette stratégie permet selon EDF de :

- définir une conduite simple et robuste, couvrant la chute partielle de grappes ;
- disposer d'une information représentative de l'injection d'eau borée dans le circuit primaire ;
- discriminer les stratégies de conduite douce et dure.

L'IRSN considère que, sur le principe, la stratégie de conduite « douce » proposée par EDF est acceptable. Elle présente toutefois un certain nombre d'inconvénients. Elle implique notamment :

- pour les très petites brèches dont le débit est inférieur ou égal à celui de la PIJ-ND, un maintien prolongé à haute pression du circuit primaire pouvant aller jusqu'à une absence de repli ;
- une augmentation de la pression primaire et un risque d'ouverture des soupapes de protection du pressuriseur lors de la phase de remontée de son niveau, risque plus ou moins important selon l'état initial du réacteur.

**L'IRSN estime à cet égard que la stratégie de conduite basée sur un niveau pressuriseur fixé à 50 % n'est pas optimale. Une autre stratégie serait envisageable, permettant d'effectuer un refroidissement plus rapide tout en assurant la maîtrise de la réactivité, et ne présentant donc pas les inconvénients susmentionnés.**

Enfin, EDF a pris un certain nombre d'engagements (voir les engagements n° 8 à n° 13 présentés en annexe 2) qui complètent les principes de la conduite ND et visent à améliorer la gestion de l'inventaire en eau du circuit primaire, de la pression primaire et de la réalimentation de matériels ND par le DUS. **L'IRSN estime que ces engagements sont satisfaisants.**

### 3.4. STRATÉGIES ALTERNATIVES DANS LES ÉTATS NON COUVERTS

Les états non couverts sont les états pour lesquels la conduite ND ne peut pas garantir la prévention de la fusion du cœur du réacteur. D'après EDF, les états non couverts correspondent à environ 1 % de la durée du cycle. L'IRSN estime que leur durée doit être aussi réduite que possible et restreinte aux cas où une stratégie valorisant les moyens ND n'est pas accessible. À cet égard, EDF s'est engagé au cours de l'expertise (voir les engagements n° 14 et n° 15 présentés en annexe 2) à réduire encore la durée des états dans lesquels une stratégie de prévention ne peut pas être mise en œuvre. **L'IRSN estime que ces engagements sont acceptables.**

## 4. ÉTUDES EN SUPPORT À LA CONDUITE ND

En support à l'élaboration de la conduite ND, EDF a réalisé des études afin de vérifier le respect des exigences de sûreté dans de telles situations, en particulier l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur ainsi que la maîtrise de la réactivité. Ces études tiennent compte des modifications matérielles prévues lors du passage des réacteurs à l'état technique RP4, notamment de l'ajout de quatre grappes d'arrêt et de l'IJPP-ND décrite au § 2.1.2.

En revanche, ces études ne traitent explicitement que de deux cas précis : d'une part le cas où le circuit primaire reste intègre et d'autre part le cas où il est affecté d'une brèche de taille équivalente à 1 pouce. Étant donné la coexistence de deux stratégies de conduite, le choix d'EDF de restreindre les études à ces deux cas précis ne permet pas de valider la pertinence de la conduite pour les différents cas de figure à envisager. Notamment, pour des brèches de taille inférieure à 1 pouce, l'injection de bore dans le circuit primaire par les accumulateurs interviendrait à une température plus faible que dans le cas de la brèche de 1 pouce, ce qui est pénalisant du point de vue de la réactivité (la baisse de la température de l'eau dans le circuit primaire entraîne une augmentation de la réactivité). Au cours de l'expertise, EDF s'est engagé (voir l'engagement n° 16 présenté en annexe 2) à ajouter un nouveau critère d'ouverture de la ligne de décharge du pressuriseur par l'opérateur afin de favoriser la dépressurisation en cas de brèche inférieure à 1 pouce, **ce qui est satisfaisant sur le principe.**

Pour s'assurer de la maîtrise de la réactivité, EDF recourt à des calculs de concentration en bore critique<sup>8</sup> permettant une valorisation plus précise de l'antiréactivité apportée par l'isotope 135 du xénon<sup>9</sup>, tout en retenant un certain nombre de conservatismes. **L'IRSN estime que cette démarche est proportionnée aux enjeux de sûreté associés à la conception du ND 1300.**

Enfin, l'IRSN souligne que le débit de retour aux joints des pompes primaires est un paramètre dominant pour la vérification de la maîtrise de la réactivité. En effet, il conditionne au premier ordre l'évolution de la concentration en bore dans le circuit primaire, et donc l'évolution de la réactivité du cœur. Les études d'EDF, qui prennent pour hypothèse un débit de retour aux joints égal à un tiers du volume injecté par la PIJ-ND, montrent le maintien de la sous-criticité, que ce soit pour la stratégie « primaire intègre » (pas de brèche) ou « primaire non-intègre » (brèche d'un pouce). Or comme indiqué au § 2.1.2, cette valeur n'est pas enveloppe des débits admissibles en

<sup>8</sup> La concentration en bore critique est la concentration en bore en dessous de laquelle la sous-criticité du cœur n'est plus assurée en tenant compte des autres facteurs influents (insertions des grappes, température du primaire, etc.).

<sup>9</sup> Cet isotope, qui apparaît par décroissance des produits de fission, est un très fort absorbant neutronique, participant donc aux variations de la réactivité du cœur en fonctionnement normal et dans les états d'arrêt.

fonctionnement normal, et une valeur plus élevée pourrait conduire, selon l'IRSN, à un retour en criticité, ce qui l'a conduit à formuler la recommandation n° 2.

À l'issue de son expertise, l'IRSN considère que les études menées en support à l'élaboration de la conduite ND présentent des résultats globalement satisfaisants en termes de marges aux critères de sûreté, notamment pour la maîtrise de la réactivité grâce à la mise en place de l'IJPP-ND, pour un débit de retour des joints restant limité après un séisme ND. Il appartiendra néanmoins à EDF de mettre à jour ses études à la suite de la prise en compte des engagements et des recommandations, afin de valider la pertinence des stratégies de conduite ND qui seront retenues *in fine*. L'IRSN note à cet égard qu'EDF a prévu une mise à jour de ces études à l'échéance du DA RP4 1300 lot B.

## 5. CONCLUSION

Tout d'abord, l'IRSN estime que le périmètre du noyau dur prévu par EDF pour les réacteurs de 1300 MWe est globalement satisfaisant et que les dispositions associées constituent une avancée notable pour la sûreté de ces réacteurs en cas d'agressions ND. De plus, à la suite de l'expertise menée, EDF a proposé des améliorations significatives de la conception initialement prévue du noyau dur pour le palier 1300 MWe (évolution de l'EAS-ND visant à limiter le risque de mode commun avec les systèmes de sauvegarde, modifications permettant de régler la vitesse de refroidissement par les GV depuis la salle de commande). Par ailleurs, pour les paliers 1300 MWe et 900 MWe, EDF a pris de nombreux engagements visant à compléter la liste des SSC-ND, notamment en ce qui concerne les équipements participant à la fonction de confinement en situation ND.

Néanmoins, l'IRSN estime qu'EDF doit, pour le palier 900 MWe, intégrer la disposition de réinjection des effluents du BK vers le BR à la liste des SSC-ND et, pour le palier 1300 MWe, démontrer qu'après un séisme ND le débit d'eau borée injecté dans le circuit primaire par l'IJPP-ND est suffisant compte tenu du débit d'eau au retour des joints des pompes primaires. Ces points font l'objet de recommandations. En outre, des éléments sont encore attendus notamment concernant la démonstration de la fiabilité des TPS ASG à la suite d'une agression ND ainsi que la qualification des équipements aux situations ND.

En ce qui concerne les SSC-ND neufs, l'IRSN estime que les exigences associées à la conception mécanique et au contrôle des soudures doivent être renforcées. Par ailleurs, certaines parties existantes de l'EAS-ND et du SEG ont une importance fonctionnelle particulière qui nécessite qu'elles répondent à des exigences équivalentes à celles qui doivent être appliquées aux SSC-ND neufs. Enfin, des exigences fortes d'étanchéité doivent être retenues pour l'ensemble des portions de circuits pouvant être à l'origine de risque de bipasse du confinement. Ces points font également l'objet de recommandations.

Pour ce qui concerne la conduite du noyau dur, l'IRSN souligne tout d'abord les efforts menés par EDF, notamment pour améliorer la gestion de l'inventaire en eau du circuit primaire et permettre la gestion de certains états initialement non couverts. De plus, l'IRSN n'a pas de remarque sur la stratégie de conduite ND « dure ». En revanche, la conduite « douce », bien qu'acceptable, pourrait être optimisée afin notamment de limiter le maintien prolongé à haute pression du circuit primaire pour certains cas de très petites brèches.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté

# ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2023-00066 DU 12 MAI 2023

## Recommandations de l'IRSN

### Recommandation n° 1

L'IRSN recommande que, pour les réacteurs de 900 MWe, les équipements associés à la fonction de réinjection des effluents du BK vers le BR (collecte, détection puisard, réinjection) soient ajoutés à la liste des SSC-ND et répondent à l'ensemble des exigences associées, dont celles liées aux effets induits des agressions noyau dur.

### Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF détermine le débit maximal de retour des joints des pompes primaires pouvant être atteint dans les situations ND en considérant initialement le débit admis en fonctionnement normal. En tenant compte de ce débit maximal, EDF devra vérifier que le débit d'eau injectée par la PIJ-ND est suffisant pour maîtriser la réactivité lors du repli du réacteur avec la stratégie de conduite ND « primaire intègre » en considérant une chute partielle des grappes.

### Recommandation n° 3

L'IRSN recommande que la tuyauterie existante de la ligne JP/SED sur laquelle vient se raccorder le système SEG des réacteurs de 1300 MWe et jusqu'à la crosse d'aspiration PTR réponde à des exigences mécaniques équivalentes à celles devant être appliquées pour les tuyauteries neuves du circuit SEG dans le BK (contrôles de l'état de la tuyauterie et de 100 % des soudures, respect des critères à appliquer pour la vérification au SND).

### Recommandation n° 4

L'IRSN recommande que, pour l'ensemble des équipements neufs du noyau dur, EDF réalise des contrôles sur 100 % des soudures, en prenant en compte les contrôles et les critères d'acceptation des défauts conformes au niveau 2 du RCC-M, afin de garantir une robustesse élevée de ces équipements aux agressions.

### Recommandation n° 5

L'IRSN recommande qu'EDF privilégie des critères de résistance mécanique équivalents à un niveau B ou C du RCC-M pour les SSC passifs neufs du noyau dur. Si EDF utilise un critère qui autorise des déformations irréversibles, il devra justifier que l'étendue et le cumul de ces déformations irréversibles sont tels que la capacité fonctionnelle des matériels soit respectée, y compris en cas de répliques sismiques.

## ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2023-00066 DU 12 MAI 2023

### Engagements principaux de l'exploitant

#### Engagement n° 1

La nouvelle conception de l'EAS-ND et le dossier associé intégreront l'évolution consistant à déplacer la connexion de la ligne EAS-ND de débit nul de la pompe EAS-ND en aval du diaphragme EAS081DI, sur les deux paliers P4 et P'4, à l'échéance du déploiement de la modification EAS-ND au titre du lot A de la RP4 1300.

#### Engagement n° 2

EDF s'engage, à l'échéance du lot A du RP4 1300, à rendre manœuvrables depuis la salle de commande les vannes ASG 035 à 038 VD en situation ND pour disposer, dans le cadre du ND 1300, d'un moyen simple et robuste de contrôler en conduite ND le débit d'eau provenant des TPS ASG et alimentant indépendamment les quatre GV.

#### Engagement n° 3

EDF s'engage, à l'échéance du lot A du RP4 1300, à rendre manœuvrables depuis la salle de commande les vannes réglantes pneumatiques GCT-a (GCT 021 à 024 VV). Pour cela, il est prévu au-delà des études de robustesse ND :

- une modification matérielle permettant d'assurer la réalimentation en air comprimé de ces vannes au-delà de leur autonomie actuelle de 6 heures et en amont de la mise en place d'une réalimentation par la FARN à partir de 36 heures ;
- des modifications de contrôle commande pour assurer la signalisation d'état des vannes GCT 021/022/023/024 VV en ND.

#### Engagement n° 4

Concernant la séquence de délestage / reletage des actionneurs électriques réalisée par le contrôle-commande du ND 1300 en situation ND, EDF s'engage à transmettre :

- la description du processus de modification avant fin avril 2023 ;
- la spécification fonctionnelle dans le cadre de l'instruction de la modification.

#### Engagement n° 5

Pour le cas particulier de l'automatisme de réalimentation de LHA et/ou LHB par le DUS, et de la séquence de délestage/reletage spécifique associée, instruits dans le cadre de l'affaire Distribution Électrique Noyau Dur, à la suite des éléments transmis au titre de l'Engagement n° 4, EDF communiquera à l'IRSN fin 2024 un descriptif relatif aux essais de requalification effectués sur site, et nécessaires à la validation fonctionnelle de la modification, en complément des opérations préalables prévues en plateforme.

#### Engagement n° 6

EDF évaluera, avant mi 2024, les potentielles discordances entre information H1/H3 de l'APE et information H1-ND/H3-ND.

#### Engagement n° 7

EDF étudiera, avant mi 2024, la faisabilité de la définition de critères représentatifs de la défaillance du CCN en situation de séisme significatif à associer à l'alarme ND « séisme significatif ».

**Engagement n° 8**

Pour la séquence « primaire intègre », EDF évaluera, à l'échéance du dossier d'amendement RP4 1300 lot B, l'intérêt de différer l'arrêt de la PIJ-ND.

**Engagement n° 9**

Dans le cadre de la surveillance de la pression primaire à moyen/long terme, EDF prévoit d'intégrer, à échéance du dossier d'amendement RP4 1300 lot B, un critère de refermeture de la ligne de décharge du pressuriseur adapté à la gestion de la situation.

**Engagement n° 10**

EDF étudiera, pour la mise en œuvre de la stratégie de conduite ND « primaire non-intègre » à l'échéance du DA RP4 1300 lot B, l'intérêt d'anticiper le démarrage de l'EAS-ND.

**Engagement n° 11**

EDF étudiera la faisabilité d'une évolution du chapitre VI des RGE sur le palier de 1300 MWe afin de prévoir dans l'EFS 6,6 kV, même hors cas d'agression extrême, la réalimentation par le DUS des tableaux électriques nécessaires au fonctionnement des automatismes ND avant la perte d'autonomie de leurs batteries.

**Engagement n° 12**

L'action de remise en service de la MPS ASG en cas de perte différée des alimentations électriques fera l'objet d'une précision dans la documentation ND, à échéance du DA RP4 1300 lot B.

**Engagement n° 13**

Vu la similarité avec la conduite du 900, EDF propose de renforcer la mise en œuvre de l'unité mobile de borication par la FARN en vérifiant les formulations introduites dans les consignes ND lors de leur rédaction et en mettant à disposition des équipes de crise des éléments stratégiques.

**Engagement n° 14**

Afin d'inciter l'exploitant à ne pas rendre la piscine étanche trop tôt lors d'un arrêt pour rechargement et limiter encore plus la configuration « couvercle posé non vissé et piscine BR étanche », EDF propose :

- de ne plus rendre étanche la piscine BR dans la prescription particulière permettant l'ouverture du tube de transfert pour réaliser les essais à sec du chariot du tube de transfert ;
- de faire évoluer les procédures de conduite normale pour :
  - ne poser les tapes (P'4) ou ne fermer les portes (P4) que juste avant de remplir la piscine BR,
  - déposer les tapes (P'4) ou ouvrir les portes (P4) dès la fin de la décontamination de la piscine BR.

**Engagement n° 15**

EDF étudiera l'opportunité de mettre en œuvre des dispositions permettant d'améliorer la gestion des situations de prévention ND sur la base des moyens ND disponibles vis-à-vis des états initiaux réputés « non couverts » à échéance de la phase B du DA VD4 1300 en particulier lorsque l'état initial de l'installation ne permet pas de s'assurer de l'efficacité de la mitigation par les moyens du ND, notamment en cas d'ouverture du TAM.

**Engagement n° 16**

Un nouveau critère d'ouverture de la LDP dédié au cas « primaire non intègre » est envisagé, à l'échéance du DA RP4 1300 lot B, afin de favoriser la dépressurisation du primaire et l'injection de bore par les accumulateurs en cas de fuite inférieure à 1 pouce.