

Fontenay-aux-Roses, le 3 janvier 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

**Avis IRSN N°** 2017-00002

**Objet :** EDF - Réacteurs électronucléaires  
Mise en place du noyau dur post-Fukushima  
Prévention et maîtrise des situations accidentelles des réacteurs en exploitation

**Réf. :**

1. Lettre ASN CODEP-DCN-2015-019241 du 19 mai 2015.
2. Décisions n°2012-DC-0274 à 2012-DC-0292 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 26 juin 2012 - Conclusions des évaluations complémentaires de sûreté (ECS).
3. Décisions n°2014-DC-0394 à 0412 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 21 janvier 2014 - Examen du dossier présenté par l'exploitant conformément à la prescription « ECS-1 » [2].
4. Avis IRSN - 2015-00270 du 12 août 2015 : « Tout palier - Écart de conformité relatif à la température dans les locaux LLS (EC 249) ».
5. Avis IRSN - 2016-00286 du 13 juin 2016 : « Palier 1300 MWe - Fiabilisation du tableau LH par la TAC ».
6. Avis IRSN - 2016-00255 du 26 juillet 2016 : « Palier 1300 MWe - Résorption de l'écart physique du dôme ».
7. Avis IRSN - 2016-00257 du 28 juillet 2016 : « Tout palier - Anomalie d'étude relative au contrôle de la réactivité pour certains transitoires du domaine complémentaire ».
8. Lettre ASN - CODEP-MEA-2011-063263 du 16 novembre 2011 : « Avis et recommandations des Groupes permanents « Réacteurs » et « Usines » les 8, 9 et 10 novembre 2011 ».

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

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

À la suite des évaluations complémentaires de sûreté (ECS) réalisées pour les réacteurs électronucléaires après l'accident de Fukushima, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé à Électricité de France (EDF) en 2012 (référence [2]) de mettre en œuvre des dispositions matérielles et organisationnelles, appelées « noyau dur », afin de pouvoir gérer une situation accidentelle de perte totale des alimentations électriques et de la source froide de ces réacteurs qui serait consécutive à une agression naturelle extrême (dite agression « noyau dur ») comme le séisme, l'inondation, les vents extrêmes, la foudre, la grêle ou la tornade. Le noyau dur doit permettre d'assurer, dans une telle situation (dite « situation noyau dur »), la prévention de la fusion du combustible, la limitation des rejets radioactifs massifs en cas de fusion du cœur ainsi que la gestion de la crise en résultant.

Lors de la réunion du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR) des 13 et 20 décembre 2012, les propositions d'EDF de constitution du noyau dur, transmises en réponse à la prescription ECS1 [2], ont été examinées. Dans ce cadre, le GPR a notamment considéré que :

- pour la stratégie de refroidissement du cœur et d'évacuation de la puissance hors de l'enceinte de confinement, le noyau dur doit d'abord viser à prévenir la fusion du cœur en privilégiant des solutions permettant de conserver l'intégrité des barrières le plus longtemps possible et de limiter le risque de bipasse de l'enceinte ;
- pour les piscines du bâtiment du réacteur (BR) et du bâtiment du combustible (BK), les dispositions visant à maintenir l'inventaire en eau doivent être particulièrement robustes.

En janvier 2014, l'ASN a précisé, par un ensemble de prescriptions en référence [3], ses exigences relatives à la conception du noyau dur. En particulier, l'ASN a indiqué, dans la prescription « ECS ND1 », que « le noyau dur permet des stratégies de conduite privilégiant le refroidissement par les circuits secondaires en conservant l'intégrité du circuit primaire principal ».

Par la saisine en référence [1], l'ASN sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les principales options matérielles retenues par EDF pour le noyau dur et sur les stratégies de conduite prévues pour prévenir et maîtriser les situations accidentelles des réacteurs en fonctionnement en situation extrême afin d'éviter, pour ces situations, la fusion du combustible en cuve et dans les piscines.

L'analyse de l'IRSN s'appuie sur les éléments techniques transmis par EDF en réponse aux prescriptions ECS-ND1, ECS-ND2, ECS-ND3 et ECS-ND11 [3] ainsi qu'aux prescriptions ECS16, ECS23 à ECS25 [2] qui concernent principalement la piscine du bâtiment du combustible. Les études détaillées réalisées à ce stade par EDF concernent essentiellement les réacteurs du palier 900 MWe. Les principes de conduite sont toutefois similaires pour les réacteurs des autres paliers du parc en exploitation.

Les conclusions de l'IRSN s'appuient également sur les engagements pris par EDF au cours de l'instruction, et transmis à l'ASN, dont les principaux sont mentionnés dans le présent avis.

### **Déploiement progressif des moyens du noyau dur**

Depuis 2011, EDF a déployé plusieurs dispositions matérielles et organisationnelles dont la finalité est d'accroître la robustesse et la maîtrise des réacteurs du parc dans l'hypothèse d'une situation de perte totale des alimentations électriques (dénommée situation H3) et de la source froide (dénommée situation H1) affectant simultanément tout ou partie des réacteurs d'un site à la suite d'un séisme ou d'une inondation extrême. Notamment, EDF a mis en œuvre une force d'action rapide nucléaire (FARN) dont l'objectif est de déployer des moyens complémentaires sur un site accidenté en moins de 24 heures.

Depuis 2015, EDF déploie progressivement sur le parc les premiers équipements nouveaux du noyau dur. Pour l'essentiel, il s'agit de la mise en œuvre, pour chaque réacteur du parc, d'un groupe électrogène diesel d'ultime secours (DUS) et d'une source d'eau ultime (SEu). Conformément aux prescriptions de l'ASN émises en 2012 (respectivement « ECS18 » et « ECS16 » - référence [2]), les DUS doivent être opérationnels fin 2018 et les sources d'eau ultimes fin 2021.

Enfin, la mise en œuvre complète des dispositions du noyau dur sera réalisée sur les réacteurs des paliers de 900 et de 1300 MWe à partir de leur quatrième visite décennale et, pour les réacteurs du palier N4, lors de leurs troisièmes visites décennales. Notamment, les équipements et systèmes déjà existants et appartenant au noyau dur seront renforcés si nécessaire pour faire face aux niveaux d'agressions et aux situations retenus pour le noyau dur. Seront également installés :

- une pompe dite « noyau dur » permettant d'injecter de l'eau borée dans le circuit primaire lorsque ce dernier est suffisamment dépressurisé et capable, le cas échéant, d'assurer la recirculation du fluide primaire depuis les puisards du bâtiment du réacteur ;
- un système d'alimentation en eau ultime des GV (ASG ultime) ;
- un dispositif de refroidissement ultime de l'enceinte (EASu) ;
- un système de contrôle commande noyau dur (CCND) et l'instrumentation définitive noyau dur.

Ce calendrier de déploiement du noyau dur implique que les derniers réacteurs disposeront d'un noyau dur opérationnel après 2030.

Les ECS réalisées après l'accident de Fukushima avaient identifié la nécessité de faire évoluer la conduite des situations H1 et H3. Notamment, les GP avaient souligné, dans leur avis du 16 novembre 2011, que « *les référentiels actuels peuvent présenter certaines limites. Par exemple, les référentiels actuels ne considèrent pas le cumul des situations de perte totale des alimentations électriques ou de sources de refroidissement avec les agressions externes prises en compte dans les référentiels : de ce fait, les équipements nécessaires à la gestion de ces situations ne sont pas tous protégés ou dimensionnés aux niveaux d'aléas du domaine de dimensionnement. De même, les référentiels actuels ne postulent pas, ou ne postulent que de manière ponctuelle, la survenue d'une perte totale de refroidissement ou de sources d'énergie affectant plusieurs installations d'un site. Les groupes permanents soulignent l'importance de se réinterroger sur les référentiels de sûreté dont les limites ont été mises en évidence à la suite de l'accident de Fukushima et des ECS, sans attendre les prochains réexamens de sûreté des installations.* » [8].

Par ailleurs, des écarts de conformité et des anomalies d'études déclarés depuis 2012 ont également amené EDF à définir des modifications temporaires de ces stratégies de conduite. Pour l'essentiel, il s'agit :

- de l'écart relatif au risque de dépassement rapide des températures maximales de fonctionnement du TAS LLS<sup>1</sup> compte tenu des conditions d'ambiance du local [4]. La présence de cet écart, qui concerne l'ensemble des réacteurs hormis Fessenheim, ne permettrait plus au TAS-LLS d'assurer ses missions de secours, dont l'alimentation électrique de la pompe de secours de l'injection aux joints des pompes primaires. À ce stade, pour les réacteurs affectés par cette anomalie, aucune disposition permettant de gérer une situation H3 sans perte d'intégrité primaire n'a pu être définie<sup>2</sup> ;

---

<sup>1</sup> TAS LLS : turbo-alternateur de secours du système d'ultime secours de tension 380 V.

<sup>2</sup> Il existe un risque de brèche primaire induite au droit des joints des pompes primaires si l'injection dans ces joints est interrompue sur une durée supérieure à 120 secondes lorsque la pression du circuit primaire est supérieure à 45 bar ou la température supérieure à 220 °C.

- de l'écart relatif à la puissance électrique délivrée par la turbine à combustion (TAC), présente sur le palier de 1300 MWe, qui ne serait pas suffisante pour mettre en service l'injection de sécurité en situation H3 cumulée avec une brèche aux joints des pompes primaires [5] ;
- des anomalies d'études relatives, d'une part à la modélisation de la thermohydraulique du dôme de la cuve du réacteur [6], d'autre part au contrôle de la réactivité du cœur dans certains transitoires du domaine complémentaire [7].

EDF planifie la résorption de l'écart sur la température du local du TAS LLS entre fin 2019 et 2021 pour l'ensemble des réacteurs. L'anomalie relative à la physique du dôme est en cours de résorption. Enfin, EDF compte résorber l'anomalie relative au contrôle de la réactivité, qui affecte directement les stratégies H1 ou H3 avec un repli sans exutoire du circuit primaire<sup>3</sup>, à l'occasion des prochains réexamens de sûreté.

Dans l'attente de la mise en œuvre complète des dispositions du noyau dur, prévue au-delà de 2030 pour les derniers réacteurs, l'IRSN considère que le déploiement progressif des dispositions post-Fukushima doit conduire d'ici fin 2021 à une amélioration significative de la sûreté des réacteurs. En complément, ces dispositions peuvent permettre de pallier les écarts de conformité et anomalies d'études précédemment cités, et ceci a minima pour les situations d'agressions retenues dans les référentiels de sûreté actuels.

**Aussi, l'IRSN considère qu'EDF doit mettre en œuvre, en valorisant les améliorations de sûreté introduites d'ici à 2021, des dispositions permettant la maîtrise des fonctions fondamentales de sûreté en situations H1 ou H3 de site et de longue durée, ceci a minima pour les agressions retenues dans les référentiels de sûreté actuels. La mise en œuvre de ces dispositions devra permettre la maîtrise du risque de brèches aux joints des groupes motopompes primaires (GMPP).**

À cet égard, EDF s'engage :

- à réaliser un point intermédiaire de l'intégration de la situation H1 de site (démarche, hypothèses, objectifs) dans la démonstration de sûreté en tenant compte des moyens qui seront disponibles à fin 2021 ;
- à caractériser, pour les situations H3, les améliorations apportées par les dispositions de sûreté introduites d'ici 2021, en précisant les situations que ces dispositions permettent de couvrir, leur statut et les possibilités supplémentaires des stratégies associées.

**L'IRSN considère que les éléments qu'EDF s'engage à transmettre d'ici fin 2017 devront permettre de répondre à l'objectif fixé ci-dessus.**

---

<sup>3</sup> Cette notion signifie que le repli du réacteur s'effectue sans disposer d'un moyen de décharge du circuit primaire permettant de diminuer la pression et de libérer un volume suffisant pour injecter l'eau borée nécessaire à la maîtrise de la réactivité.

## Stratégie de conduite noyau dur du réacteur et de la piscine d'entreposage des combustibles

En préambule, l'IRSN précise que, parmi l'ensemble des hypothèses retenues par EDF pour établir une stratégie de conduite du noyau dur,

- la capacité de toutes les grappes de commande à chuter intégralement en situation extrême est considérée comme acquise. Les éléments de démonstration correspondants font actuellement l'objet d'une instruction technique par l'IRSN dans un autre cadre. Elle est essentielle à la démonstration de la maîtrise de la réactivité dans les situations considérées ;
- le circuit primaire principal conserve son intégrité à la suite d'une agression extrême. Notamment, les joints des GMPP sont intègres malgré la perte de leur refroidissement. L'IRSN ne dispose pas de la démonstration d'EDF sur ce point. Toutefois, EDF a examiné, au travers d'une étude de sensibilité, l'efficacité de la stratégie proposée en présence d'une brèche de diamètre équivalent égal à un pouce pouvant provenir de la rupture de petites tuyauteries connectées au circuit primaire.

La stratégie de conduite ultime proposée par EDF à la suite d'une situation H1 + H3 de site repose, en fonction des états standards de fonctionnement, sur la réalisation des principales actions suivantes.

### Pour les réacteurs en production (RP) ou en arrêt normal sur les générateurs de vapeur (AN/GV)

- chute complète des grappes de commande ;
- mise en œuvre d'un refroidissement par les opérateurs (à 56 °C/h par ouverture du GCTa<sup>4</sup>) permettant la dépressurisation du circuit primaire jusqu'à environ 75 bars et alimentation des générateurs de vapeur en eau par l'alimentation de secours ultime (ASGu) qui fait partie des nouveaux matériels du noyau dur. La dépressurisation n'est alors plus possible par le seul refroidissement par le circuit secondaire du fait de l'apparition d'une bulle de vapeur sous le couvercle de la cuve ;
- dépressurisation du circuit primaire : ouverture par l'opérateur d'une ligne de décharge du pressuriseur (LDP) ;
- borication du circuit primaire par décharge partielle des accumulateurs RIS<sup>5</sup> après chute de la pression primaire ;
- une fois la pression de refoulement de la nouvelle pompe noyau dur (pompe ND) atteinte vers 15 bar, complément de borication du circuit primaire par injection d'eau de la bêche PTR<sup>6</sup> ;
- stabilisation du réacteur à une température et une pression permettant l'évacuation de la puissance résiduelle du cœur par les GV alimentés en eau par l'ASGu.

### Pour les réacteurs en arrêt normal sur le circuit de réfrigération à l'arrêt (AN/RRA) et en arrêt pour intervention circuit primaire fermé (API fermé)

- évacuation de la puissance résiduelle et refroidissement du circuit primaire par le(s) GV(s) alimenté(s) en eau par l'ASGu ;

---

<sup>4</sup> GCTa : ligne de contournement globale de la turbine à l'atmosphère.

<sup>5</sup> RIS : les accumulateurs du système d'injection de sécurité permettent de réaliser un appoint en eau borée de manière passive à partir d'une pression d'environ 40 bars dans le circuit primaire.

<sup>6</sup> PTR : système de traitement et de réfrigération de l'eau des piscines.

- bien que la concentration en bore (Cb) du primaire soit suffisante pour garantir la sous-criticité à long terme, mise en service de la pompe ND pour injecter de l'eau borée de la bache PTR dans le circuit primaire lorsque la pression du primaire est compatible avec la pression de refoulement de la pompe ND.

*Pour les réacteurs en arrêt pour intervention circuit primaire entrouvert (piscine du bâtiment du réacteur non remplissable)*

L'objectif de la stratégie est comme précédemment d'assurer l'évacuation de la puissance résiduelle par un générateur de vapeur alimenté par l'ASGu. L'action particulière relevant de cet état est de tenter de fermer les événements, situés sur le couvercle de la cuve et au sommet du pressuriseur, afin d'éviter les pertes de fluide primaire. Si cette action réussit, la situation devient identique à celle présentée au paragraphe précédent.

En cas d'échec de la fermeture de ces événements, les opérateurs devront démarrer la pompe ND afin de compenser a minima la perte de fluide primaire par ébullition. À la différence d'une situation dans laquelle les événements ont été refermés, une fois la bache PTR vide, l'aspiration de la pompe ND sera systématiquement basculée vers les puisards pour poursuivre l'injection et compenser la perte de fluide primaire aux événements.

*Pour les réacteurs en cours de déchargement ou de rechargement*

- limitation des pertes en eau des piscines des BR et BK par isolement des tuyauteries jugées non robustes à l'agression ;
- appoint en eau aux piscines permettant a minima de compenser la vaporisation induite par la perte de refroidissement ;
- ouverture d'un exutoire permettant d'évacuer la vapeur d'eau produite vers l'extérieur afin d'éviter une montée en pression dans les bâtiments BR et BK ;
- mise en œuvre à terme d'un appoint en bore afin de maîtriser la réactivité du combustible présent dans la cuve.

*Pour les piscines d'entreposage du combustible*

- les trois premières actions précédentes pour ce qui les concernent.

*Les autres états d'arrêt d'un réacteur* ne sont pas considérés par EDF comme devant disposer d'une stratégie de conduite noyau dur, de par leur fréquence et leur durée faibles.

**Analyse de la stratégie de conduite noyau dur du réacteur**

*Réacteur en production ou en arrêt normal sur les générateurs de vapeur*

Pour les cas initiés lorsque le réacteur est en production ou en arrêt normal sur les générateurs de vapeur, la conduite noyau dur ultime conduit à refroidir fortement et rapidement le cœur du réacteur, ce qui induit une augmentation significative de sa réactivité<sup>7</sup> alors qu'il n'y a pas encore de moyen disponible d'injection de bore dans le cœur. La décharge des accumulateurs n'est en effet possible qu'après la dépressurisation du circuit primaire consécutive à l'ouverture d'une LDP. Durant

---

<sup>7</sup> Le refroidissement de l'eau contenue dans le circuit primaire s'accompagne d'une augmentation de sa densité et donc d'un renforcement du ralentissement des neutrons susceptibles de générer des fissions d'atomes d'uranium, et donc conduit à une augmentation de la réactivité du cœur.

ce transitoire et jusqu'à la décharge des accumulateurs, la marge à la criticité, calculée par EDF avec des hypothèses relaxées par rapport aux études de la démonstration de sûreté conventionnelle, est faible (de l'ordre d'une à quelques dizaines de ppm de bore dans le circuit primaire dans les cas les plus défavorables).

Pour certains réacteurs initialement en puissance, EDF doit valoriser l'augmentation temporaire d'un « absorbant neutronique », à savoir le xénon présent dans le combustible, consécutive à l'arrêt du réacteur<sup>8</sup> pour démontrer le maintien du cœur dans un état sous-critique en début de transitoire. Par ailleurs, alors que la prescription ASN « ECS ND1 » demandait de privilégier le refroidissement par le circuit secondaire en conservant l'intégrité du circuit primaire principal, la stratégie retenue par EDF pour les cas initiés en puissance et en arrêt normal sur générateurs de vapeur repose sur une ouverture volontaire et temporaire du circuit primaire.

En cas d'incident ou d'accident sur un réacteur nucléaire, les opérateurs en salle de commande appliquent les procédures de conduite selon l'approche par états (APE). Ces procédures doivent permettre d'amener et de stabiliser le réacteur et la piscine d'entreposage du combustible dans un état de repli sûr, a minima pour toutes les situations de dimensionnement et complémentaires du rapport de sûreté.

La prise en compte du retour d'expérience post-Fukushima implique de postuler l'occurrence d'une agression externe d'intensité supérieure à celles retenues dans le rapport de sûreté. Par hypothèse, EDF considère que tous les équipements ne relevant pas du « noyau dur » ne sont plus opérationnels à la suite de l'agression extrême, ceci pour le réacteur comme pour la piscine d'entreposage du combustible. Pour autant, avant de basculer vers une conduite s'appuyant uniquement sur les équipements noyau dur (« conduite ND ultime ») et conduisant, pour les cas initiés en puissance ou en arrêt normal sur générateurs de vapeur, à l'ouverture volontaire du circuit primaire, EDF n'exclut pas, en préalable, de recourir aux équipements ne relevant pas du noyau dur qui seraient encore opérationnels. Le recours à ces équipements pose ainsi le principe d'une conduite « progressive » qui permet aux opérateurs de valoriser également des équipements ne relevant pas du « noyau dur » (cf. schéma en annexe 2).

L'IRSN estime que le principe d'une telle conduite progressive, valorisant au mieux les matériels disponibles et évitant autant que possible l'ouverture volontaire du circuit primaire, est pertinent. Ainsi, la gestion des situations de type H1 ou H3 « conventionnelles » ou relevant de la conduite « progressive noyau dur » devrait être réalisée de manière à permettre l'atteinte d'un état de repli pérenne et stable, même après la disparition totale du xénon, sans ouverture volontaire du circuit primaire. **Aussi, l'IRSN considère qu'EDF doit justifier que, à l'issue du déploiement complet du noyau dur, la conduite progressive qu'il retient permettra la maîtrise de la réactivité sans ouverture des soupapes du pressuriseur.** À cet égard, EDF s'engage à se prononcer d'ici fin 2017, « *compte tenu des principes et hypothèses qui ont fondé la conception du noyau dur et des moyens prévus à l'issue de son déploiement complet, sur la possible compatibilité d'une conduite progressive qui permettrait pour certaines situations H3 moins sévères d'éviter l'ouverture d'une ligne de décharge pressuriseur (LDP)* ».

---

<sup>8</sup> Après un arrêt de réacteur, le xénon augmente d'abord avant de diminuer et quasiment disparaître.

En outre, l'IRSN souligne que la « conduite ND ultime » présente peu de marges en termes de maîtrise de la réactivité et nécessite la chute complète de l'ensemble des grappes de commande et l'ouverture volontaire temporaire du circuit primaire via une ligne de décharge du pressuriseur.

**À cet égard, l'IRSN considère nécessaire qu'EDF examine la possibilité de mettre en œuvre une disposition de maîtrise de la réactivité respectant les exigences du noyau dur et permettant de s'affranchir de cette ouverture, ce qui fait l'objet de la recommandation n° 1 en annexe 1.**

Parmi tous les réacteurs d'EDF en exploitation et toutes les gestions de combustible mises en œuvre, les réacteurs du palier CPO sont les seuls pour lesquels la marge d'arrêt<sup>9</sup> obtenue après la chute des grappes, réacteur en puissance, n'est pas suffisante pour démontrer l'absence de retour critique sans considérer l'augmentation de la concentration en xénon dans les premières heures après l'arrêt du réacteur. L'IRSN estime que ce manque de marge pourrait limiter dans certains cas la possibilité de mettre en œuvre une conduite progressive (sans ouverture d'une LDP) et induit des contraintes de mise en œuvre de la « conduite ND ultime ». En particulier, les opérateurs ne doivent pas engager le refroidissement trop rapidement après la chute des grappes, afin de bénéficier au moins en partie de l'anti-réactivité apportée par l'évolution naturelle du xénon. De surcroît, l'effet favorable du xénon n'étant que temporaire (quelques heures), la conduite proposée ne serait plus réalisable si elle était engagée trop tardivement (par exemple, en cas de dégradation de la situation intervenant quelques heures après l'arrêt du réacteur).

**Pour l'IRSN, en regard du peu de marge en termes de maîtrise de la réactivité de la « conduite ND ultime », disposer de l'effet bénéfique du xénon durant les premières heures suivant l'arrêt du réacteur contribue à la robustesse de la stratégie de conduite, réacteur en puissance. Cet effet pourrait également permettre de renforcer la démonstration de la maîtrise de la réactivité pendant ces transitoires dans le cas où la démonstration de la chute complète des grappes durant l'Arrêt automatique du réacteur (AAR) en cas de séisme noyau dur ne serait pas totalement convaincante. La démonstration de la maîtrise de la réactivité sans valorisation de l'effet bénéfique du xénon est apportée par EDF sur l'ensemble des réacteurs, sauf pour le palier CPO. En conséquence, l'IRSN émet la recommandation n° 2 en annexe 1.**

Par ailleurs, dans l'état initial en arrêt à chaud, les réacteurs du palier de 1300 MWe exploités en gestion GEMMES sont les seuls nécessitant, dans un délai très court, l'ouverture par les opérateurs d'une ligne de décharge du pressuriseur. En effet, sans cela, la concentration en bore requise par les spécifications techniques d'exploitation sur ce palier n'est pas suffisante pour garantir systématiquement l'absence de retour à un état critique du cœur avant l'atteinte des conditions d'injection de bore par les accumulateurs RIS. Ceci est à mettre en relation avec d'autres instructions, portant sur les marges à la criticité disponibles pour les incidents de refroidissement incontrôlé du domaine de dimensionnement, menées dans le cadre du réexamen de sûreté VD3 1300.

---

<sup>9</sup> La marge d'arrêt correspond à l'écart à la criticité après l'arrêt du réacteur (et donc la chute des grappes de commande).

Réacteurs en arrêt normal sur le circuit de réfrigération à l'arrêt (AN/RRA) et en arrêt pour intervention circuit primaire fermé (API fermé)

Dans les états du réacteur allant de l'arrêt normal sur RRA (AN/RRA) à l'arrêt pour intervention (API) circuit primaire fermé, l'arrêt du refroidissement résultant de l'agression extrême entraîne une élévation de la température du circuit primaire. Cette température se stabilise à une valeur pour laquelle les générateurs de vapeur sont à nouveau efficaces pour assurer l'évacuation de la puissance résiduelle.

Cette hausse de température pourrait provoquer, notamment dans les états où le circuit primaire est à l'état monophasique initialement, la sollicitation des soupapes du circuit RRA, non isolées au cours du transitoire et relevant des équipements du noyau dur.

Pour tous ces états, la concentration en bore du circuit primaire étant supérieure à la concentration en bore d'arrêt à froid, la maîtrise de la réactivité est assurée. Par ailleurs, l'état thermohydraulique final étant le même que l'état analysé au paragraphe précédent en RP ou AN/GV, avec une protection contre les surpressions assurée par la soupape RRA et la puissance résiduelle évacuée par le secondaire, l'IRSN n'a pas de remarque particulière sur la stratégie de conduite proposée par EDF.

Réacteurs en arrêt pour intervention circuit primaire entrouvert (piscine BR non remplissable)

Dans cet état, les tapes de fond de piscine du bâtiment du réacteur ne sont pas posées et l'eau pouvant s'échapper du circuit primaire peut donc s'écouler jusqu'aux puisards de recirculation. La stratégie de conduite prévue par EDF, présentée précédemment, n'appelle pas de remarque de l'IRSN.

Les autres états d'arrêt d'un réacteur non couverts par les stratégies proposées par EDF

Selon EDF, les états d'arrêt pour intervention, piscine BR remplissable ou pleine, et d'arrêt pour rechargement lorsque le tube de transfert (mettant en communication les piscines des BR et BK) est fermé, ne sont pas à couvrir par le noyau dur étant donné le caractère très peu plausible des aléas considérés et la durée cumulée très faible de ces états ou sous-états (de l'ordre de 1 % du temps). Cette position n'est pas conforme à la définition des situations noyau dur établie par l'ASN (référence [3]), qui n'exclut aucun état de fonctionnement de l'installation. Toutefois, EDF a présenté une analyse de faisabilité d'une conduite mettant en œuvre les dispositions du noyau dur afin de rétablir un appoint au circuit primaire et d'assurer l'évacuation de la puissance résiduelle.

Les éléments présentés par EDF montrent qu'une conduite visant à éviter à court terme des conséquences inacceptables, par un appoint dans la cuve du réacteur par la pompe ND, est envisageable (évacuation de la puissance par ébullition). Toutefois, l'appoint à la piscine BR ne sera plus possible une fois la bache PTR vidée. Par ailleurs, un passage en recirculation ne sera pas envisageable, car le niveau d'eau dans les puisards sera trop faible. Néanmoins, l'IRSN estime que certaines dispositions du noyau dur pourraient permettre de gérer sur le long terme ces situations. À cet égard, EDF s'engage à poursuivre « l'analyse des possibilités de conduite de ces états particuliers » et vise « à intégrer ces éléments de conduite dans les documents de conduite à l'occasion du déploiement du noyau dur. »

Informations nécessaires pour la conduite du réacteur

La mise en œuvre de la stratégie de « conduite ND ultime » du réacteur nécessite que les opérateurs disposent d'informations qui leur permettent d'atteindre les objectifs suivants :

- diagnostiquer l'état de l'installation et identifier la stratégie à appliquer ;
- réaliser les actions nécessaires à l'application de cette stratégie ;
- s'assurer de l'efficacité des actions menées.

Pour ce faire, EDF s'assurera de la robustesse aux exigences du noyau dur de l'ensemble de la chaîne de mesure et de transmission du signal jusqu'à la salle de commande notamment pour les informations suivantes :

- température en sortie du cœur ;
- pression du circuit primaire ;
- niveau dans les générateurs de vapeur ;
- pression dans les générateurs de vapeur ;
- pression à l'intérieur de l'enceinte.

L'IRSN considère que la liste des informations présentées ci-dessus mérite d'être complétée. En effet, en situation extrême, l'opérateur doit pouvoir évaluer l'état global de l'installation et pour cela doit disposer d'informations caractérisant :

- l'inventaire en eau primaire pour appréhender notamment une éventuelle inefficacité des moyens d'appoint ;
- la sous-criticité du cœur, dans la mesure où la « conduite ND ultime » présente peu de marges en termes de maîtrise de la réactivité ;
- l'activité à l'intérieur de l'enceinte de confinement afin d'identifier toute dégradation du combustible.

Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 en annexe 1.

Analyse de la stratégie de conduite des piscines d'entreposage et de manutention du combustible

Pour l'entreposage et la manutention du combustible, les situations accidentelles à examiner sont les situations noyau dur :

- pour un réacteur complètement déchargé (domaine d'exploitation RCD). Juste après la fin du déchargement du combustible, la puissance résiduelle du combustible entreposé dans la piscine du bâtiment du combustible (BK) est maximale. Cette dernière est isolée de la piscine de manutention du bâtiment du réacteur (BR) ;
- pour un réacteur en production (domaine d'exploitation RP). Seul du combustible usé est entreposé dans la piscine BK (isolée de la piscine BR), mais la perte des systèmes de refroidissement affecte à la fois le réacteur et la piscine BK ;
- pour un réacteur en cours de déchargement de son combustible (domaine d'exploitation APR) : les piscines BR et BK sont en communication et des assemblages de combustible sont en cours de manutention, la puissance résiduelle du combustible étant répartie entre le réacteur et la piscine BK.

Les dispositions du noyau dur doivent permettre de garantir :

- la limitation des pertes en eau par la perte d'intégrité de tronçons de tuyauterie jugés non robustes à l'aléa ;
- un appoint en eau aux piscines permettant *a minima* de compenser l'évaporation ;
- l'évacuation de la vapeur d'eau afin d'éviter une montée en pression dans les bâtiments BR et BK ;
- la maîtrise de la réactivité du combustible.

Ces moyens sont d'ores et déjà en cours d'intégration sur les réacteurs du parc en exploitation, même s'ils ne répondent pas forcément à toutes les exigences du noyau dur. Ils comprennent actuellement :

- un dispositif casse-siphon dimensionné à une rupture guillotine de la ligne de refoulement du circuit de refroidissement des piscines ;
- un isolement automatique de la ligne d'aspiration du circuit de refroidissement de la piscine BK sur détection d'une baisse de son niveau. Toutefois, la capacité fonctionnelle de la modification mise en œuvre sur l'ensemble des réacteurs n'est pas encore démontrée au regard des exigences à considérer en cas d'aléa extrême (il existe notamment un risque de défaillance de cet isolement à moyen ou long terme)<sup>10</sup> ;
- des moyens d'appoint utilisant le réseau de lutte contre un incendie ou des pompes mobiles spécifiques pouvant être connectées à des piquages créés sur l'actuelle ligne d'appoint à la piscine BK ;
- un exutoire pour la vapeur d'eau dans le BK ;
- de piquages permettant de réalimenter la bache d'appoint aux piscines et au circuit primaire (bache PTR).

Par ailleurs, la mise en position sûre des assemblages en cours de manutention (repose dans un point bas des piscines BR ou BK) sera recherchée, y compris en cas de perte totale des alimentations électriques. À cette fin, des outillages autonomes et des procédures adaptées ont été développés. Toutefois, la possibilité de réaliser cette action n'est pas garantie en cas d'agression extrême. Elle n'est pas jugée indispensable par EDF et cette disposition n'a pas été intégrée au noyau dur.

**Des moyens substantiels de gestion d'un aléa de forte intensité affectant les piscines d'entreposage et de manutention du combustible existent donc d'ores et déjà.** Ils seront progressivement renforcés jusqu'à la dernière phase d'intégration des dispositions post-Fukushima pour satisfaire l'ensemble des exigences requises en cas d'aléa extrême.

#### Stratégie de conduite des piscines et dispositions associées

À ce jour, ces dispositions seront correctement valorisées si l'aléa affecte uniquement la piscine BK. En revanche, la conduite incidentelle et accidentelle en vigueur sur les réacteurs d'EDF ne gère pas, pour le moment, une perte de refroidissement de longue durée de la piscine BR. Si un accident survient en phase de déchargement ou de rechargement du combustible, les piscines BR et BK initialement en communication seront isolées. Un appoint en eau sera alors réalisé dans la piscine BK,

---

<sup>10</sup> Afin de ne pas défiabiliser la fonction de refroidissement du combustible entreposé dans la piscine BK, cette vanne est à position de sécurité ouverte sur manque d'air comprimé. En cas d'aléa extrême, il sera donc nécessaire de la bloquer manuellement en position fermée par son volant de manœuvre avant l'épuisement de la réserve d'air comprimé. La faisabilité de cette action en local n'est pas encore démontrée.

mais aucune disposition équivalente ne sera mise en œuvre pour la piscine BR. Sur cette dernière, seuls l'inertie thermique et l'inventaire en eau initialement présent permettront d'éviter un découverture de combustible pendant les premières 24 heures.

EDF a prévu une évolution de cette stratégie de conduite après la dernière phase d'intégration de l'ensemble des dispositions post-Fukushima. L'exploitant ne cherchera alors plus à isoler les piscines BR et BK en cas d'aléa extrême. Cette option permettra de maintenir l'inventaire en eau des deux piscines à partir d'une seule source d'appoint. En revanche, elle obligera à ouvrir les deux bâtiments (BR et BK) vers l'extérieur pour les maintenir en équipression et éviter des transferts d'eau entre les piscines par effet piston. **Il sera donc nécessaire que des critères d'orientation vers l'une ou l'autre des deux stratégies de conduite - isolement des piscines en cas de perte de refroidissement de courte durée, maintien en communication dans le cas contraire - soient définis.** Ils devront être appliqués au plus tard dans les deux heures<sup>11</sup> qui suivent l'événement initiateur et être basés sur une vérification de l'intégrité effective des deux piscines, sur une estimation de la durée prévisionnelle de la perte de refroidissement ainsi que sur les moyens d'appoint et de borication pouvant être utilisés. À l'issue de l'instruction, EDF s'engage à définir ces critères d'orientation de la stratégie de conduite des pertes de refroidissement des piscines BR et BK lors de la dernière phase de déploiement des dispositions post-Fukushima. De surcroît, EDF indique qu'il précisera – d'ici fin 2017 pour les réacteurs de 900 MWe et d'ici mi-2018 pour les réacteurs de 1300 MWe et de 1450 MWe – les dispositions de sûreté nouvellement introduites pour la conduite de la piscine BR. **Sur ce sujet, l'IRSN estime qu'EDF doit valoriser les dispositions, actuelles et mises en œuvre jusqu'en 2021, permettant de gérer une perte de refroidissement de longue durée des piscines BR et BK dans les procédures incidentelles et accidentelles du chapitre VI des règles générales d'exploitation.**

Lorsque l'ensemble des dispositions du noyau dur sera disponible, la sûreté de l'entreposage et de la manutention du combustible en cas d'aléa extrême sera assurée par l'intégration des dispositions supplémentaires suivantes :

- un isolement automatique des lignes des compartiments de vidange de la piscine BR. Cette modification devrait être réalisée sur tous les réacteurs d'ici 2021 ;
- un appoint ultime en eau aux piscines reposant sur un système de pompage en nappe phréatique ou dans des bassins de forte capacité. La configuration altimétrique de certains sites (comme Flamanville par exemple) permettra un fonctionnement gravitaire. Cette modification devrait être fonctionnelle sur tous les réacteurs d'ici 2021 ;
- un exutoire pour la vapeur d'eau dans le BR. Lorsque les piscines BR et BK sont en communication, il est en effet nécessaire que leurs bâtiments soient maintenus à pression atmosphérique pour éviter une vidange d'une piscine par effet piston. À ce jour, l'exutoire vapeur du BR n'a été identifié que sur les réacteurs du palier de 900 MWe CPY. Il reste à définir sur les autres paliers ;
- la sécurisation sur le long terme de l'isolement de la ligne d'aspiration du circuit de refroidissement PTR. Cette fonction sera remplie par une vanne motorisée électrique

---

<sup>11</sup>Au-delà de ce délai, la dégradation des conditions d'ambiance (température et humidité) risque de compromettre les actions devant être réalisées à l'intérieur du BR ou du BK.

ajoutée en aval de la vanne pneumatique assurant un isolement automatique en cas de baisse du niveau d'eau de la piscine BK ;

- la mise en place d'une double enveloppe autour du tube de transfert<sup>12</sup> de certains réacteurs. Au stade actuel de ses études de résistance mécanique, EDF n'estime notamment pas nécessaire d'installer cette double enveloppe sur les réacteurs de 900 MWe et sur les réacteurs de 1300 MWe du train P'4<sup>13</sup> ;
- un moyen de borication pouvant être amené sur le site accidenté dans un délai maximal de 4 à 5 jours. Ce dispositif pourra être connecté à l'appoint ultime afin de compenser la dilution lente de l'eau des piscines en acide borique.

**L'IRSN estime que les dispositions prévues par EDF, à l'issue du déploiement complet du noyau dur, répondent à l'objectif d'absence de découverture d'assemblages de combustible (manutentionnés ou entreposés sous eau), à condition que l'intégrité des piscines puisse être démontrée.**

Cette démonstration d'intégrité, qui n'a pas été examinée dans le cadre du présent avis, repose sur la résistance, d'une part des structures de génie civil qui soutiennent les piscines, d'autre part des tuyauteries connectées à ces piscines. Lorsque les piscines BR et BK sont en communication, la résistance des tuyauteries connectées pourrait être mise en cause par la chute d'objet sur un piquage de faible diamètre connecté au circuit primaire du réacteur. L'IRSN estime que cet événement ne doit pas être exclu du fait que, en APR, de nombreux équipements et outillages sont introduits dans le BR en préparation des opérations d'arrêt de tranche. Or une perte d'intégrité des piscines n'a pas été retenue dans le dimensionnement des moyens d'appoint et de borication. **L'IRSN estime qu'EDF doit vérifier, sur tous les paliers, la possibilité de maîtriser un débit de fuite correspondant à la rupture d'un piquage de faible diamètre (de l'ordre d'un pouce) lorsque les piscines BR et BK sont en communication.** Sur ce point, EDF a récemment transmis une étude de sensibilité visant à vérifier la capacité du système d'appoint à faire face à une fuite sur les piscines des réacteurs de 900 MWe.

*Risques particuliers à prendre en compte lors d'une perte de refroidissement des piscines*

La conduite noyau dur des piscines BR et BK nécessite d'examiner certains phénomènes physiques présentant des risques particuliers tels que :

- les conséquences d'une ébullition résultant d'une perte de refroidissement prolongée des piscines BR et BK, sous l'angle des risques de crise d'ébullition et de retour en criticité ;
- la possibilité d'évacuer la puissance résiduelle, quelle que soit la répartition des assemblages de combustible entre les piscines BR et BK, en situation APR avec tube de transfert ouvert, comprenant en particulier une vérification pour la situation où tous les assemblages sont en cuve ;
- les risques de dilution homogène ou hétérogène dans les piscines BR et BK, résultant de l'injection d'eau non borée par l'appoint ultime associée à des pertes en eau des piscines (par ébullition ou évaporation, vague due au séisme ND, fuite...) ;

---

<sup>12</sup> Tube reliant les piscines des bâtiments réacteur et combustible.

<sup>13</sup> EDF a très récemment transmis une note de synthèse des études actuellement réalisées sur les différents paliers. Du fait du caractère succinct et non définitif des résultats communiqués, l'IRSN n'est pas en mesure de se prononcer, à ce jour, sur la résistance des tubes de transfert en cas de séisme à considérer en situation extrême.

- les risques d'inondation interne induits par un débordement par effet de vague ou d'expansion thermique des piscines, par les conséquences de la condensation dans le hall BK de la vapeur formée par ébullition de la piscine ou par une perte d'intégrité d'une tuyauterie connectée jusqu'à son isolement par un dispositif du noyau dur ;
- les conséquences de la mise en œuvre de l'unité mobile de borication sur le risque de cristallisation du bore.

L'ensemble de ces risques est examiné par EDF et l'IRSN. Seuls certains aspects sont développés ci-après.

En réponse à la prescription [ECS-24] (référence [2]), EDF a présenté une étude du comportement thermohydraulique de la piscine BK dans le cas d'une perte totale de refroidissement. Elle conclut à l'absence de risque de crise d'ébullition au niveau des crayons combustible et de risque de criticité des assemblages entreposés dans la piscine de désactivation, même quand le niveau d'eau descend jusqu'au sommet des racks d'entreposage.

Dans la situation où la majorité des assemblages de combustible sont en cuve (début de déchargement ou fin de chargement), EDF s'est engagé à démontrer que la circulation naturelle qui s'établit entre la cuve et la piscine BR permet l'évacuation de la puissance résiduelle. Dans les autres situations, l'IRSN considère que l'évacuation de la puissance résiduelle est assurée, sous réserve de la tenue du tube de transfert et du bon dimensionnement du système d'appoint ultime.

L'enjeu de l'étude des risques de dilution homogène ou hétérogène réside dans la vérification de l'acceptabilité du délai de mise en œuvre de l'unité de borication mobile proposée par EDF (4 à 5 jours). Sur ce point, EDF s'engage à compléter sa démonstration en étudiant le risque de retour critique du cœur en cuve résultant d'une dilution homogène induite par la rupture d'un piquage de petit diamètre et d'une dilution hétérogène (arrivée d'une veine fluide d'eau non borée dans le cœur).

À la suite d'un aléa extrême, de l'eau de la piscine d'entreposage peut se répandre dans le BK par effet de vagues, par débordement lié à l'expansion thermique ou par condensation de la vapeur d'eau sur les parois. Ces phénomènes induisent un risque d'inondation des systèmes qui sont situés dans les locaux inférieurs du BK. Afin d'exclure ce risque, EDF s'engage à déployer une modification matérielle qui permettra d'orienter ces effluents vers un compartiment vide de la piscine BK (compartiment de transfert ou de chargement).

Une autre source d'inondation des locaux du BK peut être une perte d'intégrité d'une tuyauterie connectée jusqu'à son isolement par un dispositif du noyau dur. **Sur les réacteurs de 900 MWe, la pompe ND d'appoint au circuit primaire est située en partie basse du BK<sup>14</sup>. L'IRSN estime qu'EDF doit ainsi démontrer l'absence de risque de dysfonctionnement de cette pompe en considérant le volume d'inondation produit par la perte d'intégrité d'un circuit connecté à la piscine BK jusqu'à son isolement automatique à l'atteinte d'un seuil de niveau bas en piscine.** À cet égard, EDF s'engage à transmettre des éléments de justification de la robustesse de cette pompe dans le cadre de la déclaration de la modification correspondante (prévue au deuxième semestre 2017 sur les réacteurs du palier 900 MWe CPY).

---

<sup>14</sup> Sur les autres paliers de réacteur, cette pompe est située un autre bâtiment. Ces réacteurs ne sont pas concernés par ce risque d'inondation.

### Arrêt de l'ébullition des piscines

Le dossier présenté par EDF valorise également un dispositif mobile de refroidissement permettant, dans un délai inférieur à 15 jours, de retrouver un refroidissement en boucle fermée des piscines. L'IRSN estime que ce dispositif, prévu par EDF d'être opérationnel lors des quatrièmes visites décennales des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe et lors des troisièmes visites décennales des réacteurs de 1450 MWe, contribuera fortement à la sûreté de la gestion de la phase long terme d'un accident en piscine d'entreposage en permettant un retour à un état sûr stabilisé, sans ébullition de l'eau de la piscine.

### Conclusion

En réponse aux prescriptions de l'ASN à la suite de l'accident de Fukushima, EDF a défini des stratégies de conduite associées à des dispositions noyau dur afin de gérer une situation accidentelle de pertes totales des alimentations électriques et de la source froide consécutives à une agression naturelle extrême.

Concernant le réacteur, l'IRSN considère que, vis-à-vis des trois fonctions fondamentales de sûreté à assurer lors de ces accidents<sup>15</sup> et compte tenu des moyens du noyau dur retenus par EDF, la nécessité de maîtriser la réactivité du cœur contraint fortement les stratégies de conduite possibles. Cette nécessité de maîtriser la réactivité requiert en outre la chute complète de l'ensemble des grappes de commande, la démonstration de cette chute en cas de séisme noyau dur étant en cours d'instruction. À cet égard, l'IRSN estime que, pour les domaines de fonctionnement des installations retenus par EDF, les stratégies proposées sont acceptables sous réserve du respect de la recommandation n°2. De même, l'IRSN considère que la maîtrise de la réactivité pour le palier de 1300 MWe mérite d'être réexaminée pour l'état initial d'arrêt à chaud.

Concernant les principales options matérielles retenues par EDF pour le noyau dur, l'IRSN considère, à ce stade, nécessaire de les compléter notamment vis-à-vis des informations nécessaires pour gérer ces situations conformément à la recommandation n°3. En complément et du fait que la « conduite ND ultime » présente peu de marges en termes de maîtrise de la réactivité, nécessite la chute complète de l'ensemble des grappes de commande ainsi que l'ouverture volontaire temporaire du circuit primaire via une ligne de décharge du pressuriseur, l'IRSN considère nécessaire qu'EDF examine la possibilité de mettre en œuvre une disposition différente de maîtrise de la réactivité respectant les exigences du noyau dur, ce qui fait l'objet de la recommandation n°1.

Enfin et dans l'attente du déploiement complet du noyau dur sur l'ensemble des réacteurs au-delà de 2030, l'IRSN considère qu'EDF doit mettre en œuvre, en valorisant les améliorations de sûreté introduites d'ici à 2021, des dispositions permettant la maîtrise des fonctions fondamentales de sûreté en situations H1 ou H3 de site et de longue durée, ceci a minima pour les agressions retenues dans les référentiels de sûreté actuels. EDF s'engage à examiner ce sujet en 2017.

Concernant les piscines, l'IRSN estime que les dispositions prévues par EDF, à l'issue du déploiement complet du noyau dur, répondent à l'objectif d'absence de découverture d'assemblages de combustible (manutentionnés ou entreposés sous eau), à condition que l'intégrité des piscines puisse

---

<sup>15</sup> Maîtrise de la criticité, refroidissement du combustible, confinement des matières radioactives.

être démontrée. À cet égard, l'IRSN estime que la présence d'une petite brèche non isolable ne pourra pas être exclue lorsque les piscines BR et BK seront en communication. Dans ce domaine d'exploitation et sur tous les paliers, la possibilité de maîtriser un débit de fuite correspondant à la rupture d'un piquage de faible diamètre (de l'ordre d'un pouce) doit être vérifiée.

Par ailleurs, les dispositions, actuelles et mises en œuvre jusqu'en 2021, doivent permettre de gérer une perte de refroidissement de longue durée des piscines BR et BK au sein des procédures incidentelles et accidentelles du chapitre VI des règles générales d'exploitation.

Concernant les domaines de fonctionnement non retenus par EDF dans son dossier, l'IRSN estime que certaines dispositions prévues dans le noyau dur pourraient permettre de gérer sur le long terme ces situations. EDF s'engage à examiner ce point.

Enfin, des compléments d'études, faisant notamment l'objet d'engagements d'EDF issus de la présente instruction, s'avèrent encore nécessaires afin de définir précisément les stratégies de conduite des installations ainsi que les dispositions associées nécessaires.

Pour le Directeur général de l'IRSN et par délégation

Franck BIGOT

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté,

Annexe 1 à l'avis IRSN/2017-00002 du 3 janvier 2017

Recommandations

Stratégie de conduite noyau dur du réacteur

Recommandation n° 1 :

L'IRSN recommande qu'EDF étudie la possibilité d'assurer la maîtrise de la réactivité sur le long terme par un moyen relevant du noyau dur et ne nécessitant pas une ouverture volontaire du circuit primaire.

Recommandation n° 2 :

L'IRSN recommande qu'EDF démontre, pour les états initiaux en puissance des réacteurs du palier CP0, que les conditions de pression et de température du circuit primaire permettant la mise en œuvre de la borication via les moyens du noyau dur peuvent être atteintes sans valorisation de l'effet neutrophage du pic xénon.

Recommandation n° 3 :

L'IRSN recommande que les équipements permettant de disposer des informations caractérisant l'inventaire en eau du circuit primaire, la sous-criticité du cœur et l'activité à l'intérieur de l'enceinte de confinement fassent partie du noyau dur.

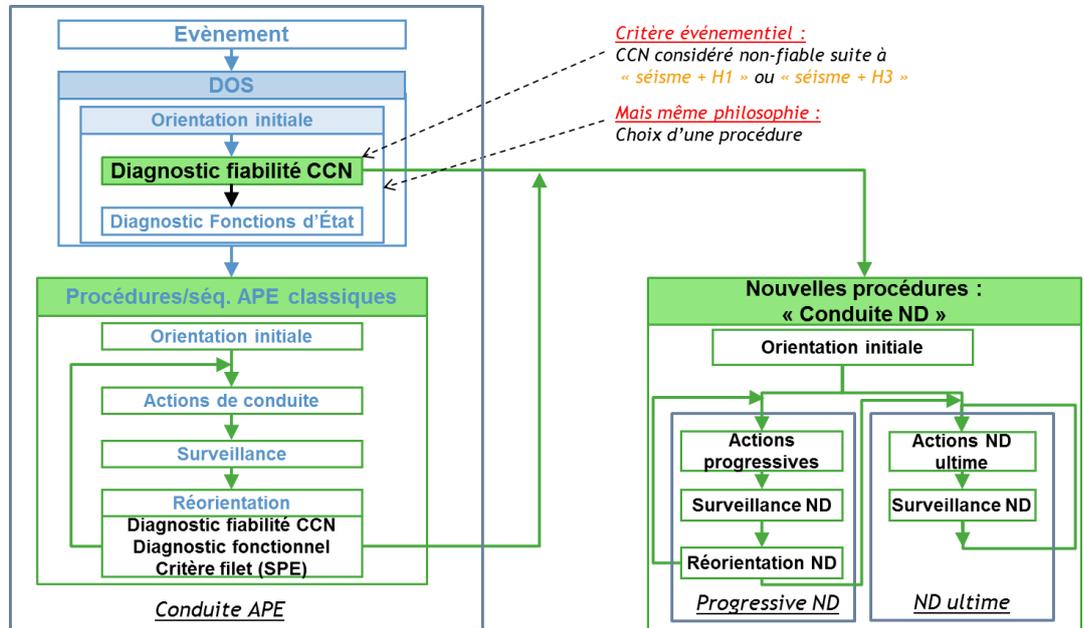


Schéma de principe de la structure documentaire proposée par EDF