



Fontenay-aux-Roses, le 19 janvier 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2023-00011

Objet : RP3 N4 – Dossier d'orientation – Spécificités du palier N4

Réf. :

- [1] Saisine ASN – CODEP-DCN-2022-059727 du 8 décembre 2022.
- [2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2019-009228 du 11 décembre 2019.
- [3] Lettre ASN – CODEP-DCN-2016-007286 du 26 avril 2016.
- [4] Lettre ASN – CODEP-DCN-2021-009580 du 23 février 2021.
- [5] Avis IRSN n° 2021-00088 du 25 mai 2021.
- [6] Lettre ASN - CODEP-DCN-2019-003520 du 18 octobre 2019.
- [7] Avis IRSN n° 2022-00163 du 26 juillet 2022.
- [8] Avis IRSN n° 2022-00099 du 9 mai 2022.
- [9] Lettre ASN – CODEP-DCN-2015-000645 du 9 janvier 2015.
- [10] Avis IRSN n° 2019-00294 du 20 décembre 2019.
- [11] Avis IRSN n° 2021-00177 du 3 novembre 2021
- [12] Avis IRSN n° 2018-00193 du 13 juillet 2018.

Conformément à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) citée en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné la prise en compte par EDF des spécificités des réacteurs du palier N4 dans le cadre de leur troisième réexamen périodique (RP3 N4) en se fondant sur les éléments du dossier d'orientation (DOR) RP3 N4 complété par la note d'analyse de l'applicabilité en RP3 N4 des demandes et prescriptions techniques de l'ASN formulées dans le cadre des RP4 des réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe.

1. CONTEXTE

Le troisième réexamen périodique des réacteurs du palier N4 s'inscrit dans la suite des quatrièmes réexamens périodiques des réacteurs des paliers 900 MWe et 1300 MWe. À ce titre, le périmètre des études de risque et les méthodes utilisées dans le cadre du RP4 1300 (qui concerne, comme le RP3 N4, des réacteurs pour lesquels le circuit primaire est composé de quatre boucles) sont reconduits en RP3 N4, ou adaptés lorsque nécessaire aux spécificités du palier N4.

La phase d'orientation du RP3 N4 permet à EDF de définir les différents thèmes du réexamen et le programme de travail associé avant d'engager les études. Pour le RP3 N4, cette phase est conduite en cohérence avec :

- les suites des orientations du RP4 1300 [2] ;
- les suites des orientations du RP4 900 [3] et celles du bilan du RP4 900 [4] ;
- les suites du deuxième réexamen périodique du palier N4 (RP2 N4) ;
- le retour d'expérience français et international de l'exploitation des réacteurs nucléaires ;
- l'ensemble des travaux ayant mené à la définition du Noyau Dur (ND)¹.

Dans ce cadre, EDF a transmis le dossier d'orientation du RP3 N4 qui précise les orientations et les objectifs retenus, la démarche mise en œuvre par EDF, et décrit le programme de travail, les livrables qui seront transmis à l'ASN ainsi que les actions qui seront mises en œuvre dans le cadre du RP3 N4. Le dossier a été complété par une note d'analyse de l'applicabilité en RP3 N4 des demandes et prescriptions techniques de l'ASN formulées dans le cadre du RP4 900 et du RP4 1300, ainsi que par l'échéancier de transmission des livrables identifiés dans le DOR. À l'instar des orientations retenues dans le cadre du RP4 900 et du RP4 1300, EDF a retenu en tant qu'orientation générale du RP3 N4 de tendre vers les objectifs de sûreté fixés pour les réacteurs de 3^{ème} génération de type EPR.

La prise de position de l'ASN interviendra en juillet 2023 et sera précédée d'un avis du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR). Dans ce cadre, l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur les compléments qui pourraient être apportés par EDF aux orientations du troisième réexamen périodique des réacteurs de type N4, par rapport aux précédents réexamens des réacteurs de 900 et 1300 MWe, eu égard aux spécificités de ce type de réacteurs.

L'IRSN détaille ci-après les spécificités du palier N4 qui méritent selon l'IRSN d'être intégrées aux thèmes du RP3 N4.

2. LES THÈMES SÉLECTIONNÉS

2.1. CONFORMITÉ

2.1.1. Maîtrise du vieillissement

Pour ce qui concerne le vieillissement des structures, des systèmes et des composants (SSC), le diagnostic physique de leur état est partie intégrante de l'évaluation de leur comportement et, en conséquence, de leur aptitude à assurer les fonctions de sûreté auxquelles ils contribuent. À ce titre, un diagnostic physique circonstancié de l'état des SSC est nécessaire pour maîtriser leur comportement dans le temps en prenant en compte les désordres pouvant affecter les ouvrages de génie civil dus, d'une part, aux mouvements de sol ou aux actions climatiques et, d'autre part, au vieillissement des matériaux ou à la corrosion.

Dans le DOR RP3 N4, EDF précise la démarche permettant d'assurer la maîtrise de la conformité et du vieillissement des ouvrages de génie civil du palier N4.

L'IRSN rappelle que les contrôles de conformité et le traitement des écarts relevés sont des prérequis incontournables afin de pouvoir garantir l'adéquation entre l'état réel des ouvrages de génie civil et les hypothèses considérées dans les études de leur comportement. Les contrôles de conformité et le traitement des

¹ Le concept de « noyau dur » vise à disposer de systèmes, structures et équipements, résistant à des événements extrêmes, assurant les fonctions fondamentales pour la sûreté des installations ou nécessaires pour la gestion de crise. Il a été défini à la suite de l'accident survenu à la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi.

écarts doivent être réalisés pour l'ensemble des ouvrages EIP² et des agresseurs potentiels d'EIP. L'IRSN considère en outre que les ancrages au génie civil de matériels EIP font partie du périmètre de ces contrôles.

Selon l'IRSN, EDF doit donc produire, dans le cadre du RP3 N4, une synthèse des contrôles réalisés. Une attention particulière devra être portée aux singularités présentées par les réacteurs du palier N4, notamment :

- l'écaillage de l'enceinte du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Civaux : un décollement du béton a été observé en 1995 sur le parement externe de l'enceinte interne (levées 20 à 23) ;
- la zone de liaison entre le plancher des structures internes du niveau +6,00 m et l'enceinte interne ;
- le suivi du développement des pathologies au niveau des éléments suivants des enceintes : radier des réacteurs du site de Chooz B (RSI)³ et fût de l'enceinte des réacteurs du site de Civaux (RAG)³ ;
- l'état des parements des bassins ;
- l'état des toitures et notamment des dômes.

Ces points n'étant pas explicitement mentionnés dans le DOR, l'IRSN formule la Recommandation N° 1 présentée en annexe.

État et comportement mécanique des enceintes

L'enceinte de confinement des bâtiments réacteurs des paliers N4, P4 et P'4 est un ouvrage à double paroi, à savoir une paroi interne en béton précontraint et une paroi externe en béton armé.

L'IRSN rappelle les singularités suivantes des enceintes du palier N4. L'enceinte interne du réacteur n° 1 de la centrale nucléaire de Civaux présente un comportement mécanique qui s'écarte notablement des autres enceintes à double paroi, du fait de déformations différées plus élevées. Par ailleurs, des phénomènes localisés de gonflement induits par des pathologies du béton ont été observés sur les enceintes des réacteurs des centrales nucléaires de Chooz et de Civaux. Enfin, EDF a appliqué des revêtements composites de renforcement de l'étanchéité à l'intrados et à l'extrados des enceintes internes.

Dans le DOR RP3 N4, EDF précise la démarche permettant d'assurer la maîtrise du vieillissement des quatre enceintes de confinement du palier N4. Les enceintes font notamment l'objet d'un programme de surveillance et d'une épreuve enceinte⁴ décennale qui doivent permettre de :

- vérifier le maintien des performances mécaniques des enceintes dans la durée ;
- vérifier leur étanchéité à travers le respect du critère de taux de fuite fixé dans le chapitre IX des règles générales d'exploitation qui intègre une provision pour tenir compte du vieillissement ;
- garantir que les enceintes interne et externe demeureront résistantes, pendant toute la durée de fonctionnement de l'installation, aux sollicitations mécaniques induites par les agressions internes et/ou externes pour lesquelles elles ont été dimensionnées.

L'IRSN souligne que le maintien des performances mécaniques des enceintes de confinement des réacteurs des paliers 1300 MWe et N4 a été examiné le 26 juin 2013 dans le cadre de la réunion du GPR consacrée à la réévaluation de la fonction de sûreté « confinement » de ces réacteurs. Pour les réacteurs du palier N4, les

² Au sens de l'arrêté du 7 février 2012 modifié fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (INB), un EIP est un élément important pour la protection des intérêts mentionnés à l'article L.593-1 du code de l'environnement. Cet élément contribue à la prévention des risques et des inconvénients pour la sécurité, la santé et la salubrité publiques ou la protection de la nature et de l'environnement.

³ La réaction sulfatique interne (RSI) et la réaction alcali-granat (RAG) sont des pathologies de gonflement interne du béton (RGI). La RAG génère, au sein des ouvrages en béton et sans apport extérieur, la formation de gel et des cônes d'éclatement visibles en parement. La RSI conduit au développement de l'ettringite différée expansive dans le volume du béton. Ces pathologies se manifestent in fine par un gonflement généralement préjudiciable à la structure concernée. Ces pathologies peuvent ainsi conduire à une perte d'étanchéité et à une modification des propriétés mécaniques de l'ouvrage en béton affecté.

⁴ L'épreuve enceinte vise à quantifier le taux de fuite en air et à évaluer le comportement mécanique de l'enceinte interne, notamment la réversibilité des déformations.

mesures du contrôle du taux de fuite présentées par EDF en 2013 correspondaient alors à celles réalisées dans le cadre de la première visite décennale.

Aussi, eu égard aux fonctions de sûreté attribuées aux enceintes de confinement et aux singularités des enceintes du palier N4 listées ci-avant, la démonstration du maintien de la fonction de confinement de la troisième barrière jusqu'au prochain réexamen périodique fera l'objet d'une attention particulière de la part de l'IRSN dans le cadre du RP3 N4, au travers notamment de l'examen des thèmes suivants :

- le comportement mécanique et l'étanchéité de l'enceinte interne ;
- le comportement mécanique et le taux de fuite de l'enceinte externe ;
- la corrosion et les phénomènes pathologiques affectant les enceintes ;
- le dispositif d'auscultation de l'enceinte interne.

Compte tenu de la proximité en termes de conception des enceintes des paliers 1300 MWe et N4, l'IRSN souligne la forte similarité des sujets techniques entre ces deux paliers. À la date d'émission du présent avis, les sujets mentionnés supra n'ont pas encore été examinés dans le cadre du RP4 1300.

2.1.2. Maintien de la qualification des équipements électriques

Les équipements électriques classés de sûreté ont été qualifiés pour la durée de vie initiale de l'installation. Dans le cadre du RP3 N4, les équipements électriques sont encore utilisés dans le cadre de leur qualification initiale alors que, dans le cadre des RP4 900 et RP4 1300, il s'agit de prolonger la durée de vie de ces équipements ou de les remplacer. Toutefois, compte tenu du nombre important et de la grande diversité de ces équipements, **l'IRSN estime nécessaire qu'EDF établisse un bilan qui montre que les équipements électriques classés de sûreté utilisés sur le palier N4 ont une durée de vie qualifiée suffisante pour couvrir la période de fonctionnement allant jusqu'à la quarantième année de fonctionnement de ces réacteurs. Ce point fait l'objet de la Recommandation N° 2 présentée en annexe.**

2.1.3. Processus de modification des logiciels du contrôle-commande classé 2E

Le palier N4 présente la spécificité d'utiliser un automate programmable pour réaliser les fonctions de contrôle-commande classées 2E (fonctions nécessaires à la conduite post accidentelle). Il s'agit de l'automate « Contronic E » du système de contrôle des auxiliaires de tranche. Comme tout automate programmable, celui-ci contient un logiciel « système » et un logiciel « d'application ». Le logiciel système est identique pour toutes les armoires et gère les signaux d'entrées - sorties ainsi que le fonctionnement de base de l'automate. Ce logiciel système est stable et n'évolue plus. En revanche, le logiciel d'application qui réalise les fonctions nécessaires à la conduite évolue régulièrement au gré des évolutions de ces fonctions. **Ces évolutions sont réalisées selon un processus dédié qui avait été jugé acceptable lors du démarrage des réacteurs du palier N4. Néanmoins, la bonne déclinaison de ce processus sur les réacteurs mériterait d'être vérifiée dans le cadre du RP3 N4.**

2.2. RÉÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

2.2.1. Accidents sans fusion du cœur et conséquences radiologiques

Règles d'études, critères de sûreté et conditions de fonctionnement

EDF précise dans le DOR RP3 N4 que les règles d'études, les critères de sûreté et les conditions de fonctionnement restent inchangés par rapport au RP2 N4.

Concernant les délais opérateur conventionnels considérés dans les règles d'études du domaine de dimensionnement et du domaine complémentaire⁵ rénové, l'IRSN a pu observer, à l'occasion d'inspections relatives à la conduite incidentelle et accidentelle mettant en œuvre le simulateur de formation des opérateurs et la simulation des actions locales par des agents de terrain, que les délais nécessaires aux opérateurs pour réaliser les actions de conduite pouvaient être nettement supérieurs aux délais conventionnels. À cet égard, l'IRSN rappelle que, à l'issue de l'analyse du retour d'expérience de l'exploitation des réacteurs électronucléaires sur la période 2018-2019 [5], EDF a pris l'engagement, pour les prochains réexamens de sûreté, « *d'identifier et de documenter, dans le cadre de la réalisation des études de sûreté du domaine de dimensionnement et du domaine complémentaire rénové, la nécessité d'utiliser des délais « adaptés » et de justifier les délais retenus en fonction des scénarios étudiés et des règles d'études applicables* ».

De plus, l'IRSN rappelle que les règles d'études du palier N4 présentent la particularité de stipuler que l'aggravant⁶ doit être pris en compte à la première sollicitation du matériel. Or, l'IRSN estime qu'un défaut latent peut se manifester au-delà de sa première sollicitation et que l'aggravant doit être considéré à l'instant le plus pénalisant. **À cet égard, l'ASN [6] a demandé à EDF de supprimer la mention faite à la « première sollicitation » du matériel dans la présentation de la règle de l'aggravant du rapport de sûreté des réacteurs du palier N4.**

Enfin, de nombreuses anomalies d'études, la plupart génériques, ont été déclarées ces dernières années concernant la maîtrise de la réactivité. L'analyse de ces anomalies met en évidence que leur émergence provient de l'absence de considération de la fonction de sûreté « réactivité » dans les études thermohydrauliques support à la démonstration de sûreté du domaine de dimensionnement comme du domaine complémentaire. **Ce réexamen est le premier cadre, depuis la déclaration de ces anomalies, pour faire évoluer le référentiel sur ce point en vue de résorber les anomalies existantes et d'éviter l'émergence de nouvelles anomalies. À ce titre, l'IRSN souligne que la maîtrise de la réactivité doit être vérifiée pour les conditions de fonctionnement de dimensionnement (à court, moyen et long termes) et complémentaires. Ce point fait l'objet de la Recommandation N° 3 présentée en annexe.**

Conséquences radiologiques

Dans le DOR RP3 N4, EDF indique qu'il utilisera la méthode d'évaluation des conséquences radiologiques des rejets atmosphériques accidentels, dénommée « PASTA », qui s'appuie sur un traitement statistique des conditions météorologiques, en prenant en compte les retombées de l'instruction qui s'est déroulée en 2020 et 2021. **L'IRSN rappelle qu'EDF devra prendre en compte le retour d'expérience de la première application de cette méthode qui est prévue dans le cadre du RP4 1300.**

2.2.2. Accidents avec fusion du cœur

Pour ce qui concerne les accidents avec fusion du cœur, le dossier d'EDF indique que les objectifs de la réévaluation de la sûreté sont, d'une part, de rendre extrêmement improbable le risque de rejets importants et précoces et, d'autre part, d'éviter les effets durables dans l'environnement au regard de l'objectif de conséquences radiologiques limitées dans l'espace et dans le temps qui est fixé pour les nouveaux réacteurs.

À ce titre, EDF prévoit de reconduire en RP3 N4 la démarche mise en œuvre à l'occasion des réexamens périodiques RP4 900 et RP4 1300, qui consiste à améliorer le confinement et à réduire la fréquence des scénarios susceptibles de conduire à des rejets importants et précoces.

⁵ Les études des conditions de fonctionnement de dimensionnement du rapport de sûreté sont complétées par des études d'autres conditions plus complexes, consécutives généralement à des défaillances multiples, identifiées par les études probabilistes de sûreté, pour lesquelles il doit être démontré que les parades mises en œuvre pour les gérer permettent de ramener le risque à un niveau acceptable. Ces parades (dispositions matérielles ou dispositions de conduite) sont appelées dispositions complémentaires et bénéficient d'exigences renforcées. Cette approche constitue le domaine complémentaire du rapport de sûreté.

⁶ L'application d'un aggravant consiste à rechercher la défaillance la plus pénalisante et à vérifier au travers des études que les conséquences de la prise en compte de l'aggravant sont acceptables pour la sûreté.

À cet égard, afin de limiter le risque de défaillance du confinement consécutivement à une explosion de gaz combustibles, les réacteurs du palier N4 sont équipés de recombineurs autocatalytiques passifs. Dans le DOR RP3 N4, EDF ne mentionne pas d'évaluation du risque de combustion d'hydrogène dans le bâtiment réacteur et dans l'espace entre enceintes. **L'IRSN estime qu'une évaluation spécifique tenant compte du nombre de recombineurs requis en fonction de l'état du réacteur et de la gestion des accidents avec fusion du cœur devra être réalisée dans le cadre du réexamen RP3 N4.** En particulier, cette évaluation devra permettre de statuer sur le risque d'accélération de flamme et d'occurrence de phénomènes dynamiques susceptibles de menacer l'intégrité de l'enceinte et les équipements nécessaires à la gestion de l'accident grave pour les réacteurs du palier N4.

Enfin, à l'instar des dispositions envisagées dans le cadre des réexamens périodiques RP4 900 et RP4 1300, EDF prévoit de mettre en œuvre, suite à un éventuel accident avec fusion du cœur, des dispositions pour limiter les risques de dissémination de substances radioactives liquides et de pollution des eaux du site ou à proximité. **La définition de ces dispositions devra tenir compte des conclusions de l'instruction actuellement menée par l'ASN concernant les objectifs associés à leur mise en œuvre.**

2.2.3. Séisme

Point sur les ouvrages dont le comportement sismique est étudié à partir de spectres déconvolués

À l'issue des orientations génériques du réexamen périodique associé au RP4 900 [3], l'ASN a rappelé qu'EDF « doit réaliser une réévaluation sismique dès lors que les niveaux sismiques sont supérieurs à ceux retenus lors du réexamen périodique précédent [et s'] appuyer en premier lieu, sur une approche déterministe conventionnelle utilisant les coefficients et taux d'amortissement préconisés par le guide ASN 2/01⁷. Dans le cas où les modifications et renforcements sismiques ne seraient pas jugés industriellement raisonnables en regard de l'intérêt vis-à-vis de la sûreté, des méthodes réalistes ou optimisées pourront être utilisées, sous réserves de justifications étayées ».

Dans le DOR RP3 N4, EDF précise que le comportement des ouvrages EIP pourrait être étudié à partir de signaux sismiques déconvolués⁸ en utilisant la méthode des éléments de frontière⁹.

En ce qui concerne la déconvolution du signal sismique, l'IRSN souligne que le guide ASN 2/01 autorise le recours aux techniques de déconvolution pour déterminer le mouvement sismique en profondeur mais que, pour autant, l'IRSN et EDF n'ont pas convenu de la méthode de déconvolution des signaux sismiques à utiliser dans le cadre des réexamens. L'IRSN recommande que, en cas d'utilisation de signaux déconvolués, EDF explicite la méthode employée et justifie les hypothèses retenues au regard des incertitudes mises en avant par l'IRSN [7]. Il s'agit notamment de la prise en compte de manière réaliste de la géométrie réelle du bâtiment et de la fouille, des caractéristiques du sol remanié et des profils de sol considérés pour les calculs. Le caractère conservatif des résultats obtenus avec ces profils devra être justifié par rapport aux résultats qui seraient obtenus avec des modèles plus proches de la réalité, tenant compte des reconnaissances de sol réalisées in-situ au droit de chacun des ouvrages d'un site. **Ce point fait l'objet de la Recommandation N° 4 présentée en annexe.**

À cet égard, l'IRSN souligne que, lors de la réévaluation sismique RP1 N4, le comportement dynamique des bâtiments BAS/BL¹⁰ des CNPE de Civaux et de Chooz a été étudié à partir de signaux sismiques déconvolués et que le caractère enveloppe des signaux sismiques déconvolués n'était selon l'IRSN pas démontré.

⁷ Guide de l'ASN portant sur la prise en compte du risque sismique à la conception des installations nucléaires de base.

⁸ La déconvolution est une méthode mathématique permettant d'évaluer l'intensité d'un signal, défini en surface c'est-à-dire au niveau du sol, à une profondeur donnée.

⁹ La méthode des éléments de frontière (ou « Boundary Element Method ») est une méthode usuelle pour modéliser l'interaction sol-structure dans des calculs aux éléments finis.

¹⁰ BAS/BL : bâtiment des auxiliaires de sauvegarde et des locaux électrique.

Dans le cadre de la réévaluation sismique RP2 N4, la justification de la stabilité des ouvrages au séisme réévalué a été effectuée au moyen d'une analyse modale du comportement des ouvrages et des marges au regard des résultats obtenus en RP1. EDF concluait alors à l'absence d'impact de l'augmentation des sollicitations sismiques sur le respect des exigences applicables aux ouvrages de génie civil.

Aussi, dans le cadre du réexamen RP3 N4, les études d'EDF devront présenter de manière explicite, pour chaque ouvrage EIP du palier N4, un état des lieux des méthodes de justification du comportement sismique des ouvrages mises en œuvre en précisant notamment le type de modélisation et de calcul retenu, les valeurs des taux d'amortissement retenues, l'utilisation ou non de signaux déconvolués, la base modale et les marges valorisables vis-à-vis du séisme compte tenu des exigences de comportement.

Démarche séisme événement appliquée aux ouvrages : risque d'agression des ouvrages EIP par des ouvrages non EIP

L'étude du comportement au séisme de structures de génie civil non-EIP susceptibles d'agresser des bâtiments EIP s'inscrit dans le cadre de la démarche dite « séisme-événement ». À cet égard, la doctrine séisme-événement applicable à l'ensemble des réacteurs en exploitation a fait l'objet de l'avis IRSN [8] dans le cadre du RP4 900.

Pour ce qui concerne la démarche séisme événement, la justification de l'absence d'agression des ouvrages EIP par des ouvrages non-EIP sous séisme (SMS RP3 N4) et l'identification exhaustive des couples d'ouvrages agresseur-cible feront l'objet d'une attention particulière, compte tenu des difficultés constatées liées à la prise en compte de ce sujet dans le cadre du réexamen RP4 900 (celui-ci n'a pas encore été examiné dans le cadre du RP4 1300).

Sur ce point, l'IRSN rappelle que la stabilité sous séisme d'intensité SMS des ouvrages non-EIP (non-effondrement), tels que les salles des machines, ainsi que l'absence d'agression des bâtiments EIP par les ouvrages non-EIP, doivent être étudiées en tenant compte du taux d'amortissement conventionnel de 7 % défini par le guide ASN 2/01 pour les ouvrages en béton armé [9].

2.2.4. Études probabilistes de sûreté (EPS)

EDF s'appuiera sur des études probabilistes de sûreté pour vérifier le caractère suffisant des modifications mises en œuvre dans le cadre du RP3 N4. EDF prévoit de préciser fin 2023 son programme de travail dans le domaine des EPS en s'appuyant sur son retour d'expérience des développements réalisés lors du RP4 900 et du RP4 1300.

L'IRSN estime que cette formalisation du retour d'expérience sur les EPS est effectivement nécessaire avant de définir le programme de travail associé au RP3 N4 et souligne que la mise au point des EPS dans le calendrier du réexamen RP3 N4 nécessite une définition des modifications matérielles majeures suffisamment tôt dans le processus de réexamen (notamment celles issues des évaluations complémentaires de sûreté post-Fukushima) pour que les EPS puissent apporter un éclairage pertinent.

Des expertises antérieures (tous paliers) ont conduit à des engagements d'EDF ou des demandes de l'ASN qui s'appliqueront aux EPS du palier N4 dans le cadre du RP3 N4. Compte tenu de la conception des réacteurs du palier N4, les points suivants méritent une attention particulière dans les EPS :

- l'étude des défaillances du contrôle commande en tant que potentiels initiateurs d'accident ;
- l'étude, en tant que potentiel initiateur d'accident, de la défaillance des systèmes de conditionnement thermique de la salle de commande, du système informatique de conduite (KIC), du panneau auxiliaire (PA) et des deux panneaux de repli.

Par ailleurs, l'IRSN a relevé que certains points relatifs aux dispositions du domaine complémentaire avaient été traités par EDF très tardivement dans le cadre du réexamen RP2 N4 ou reportés au RP3 N4. Cela concerne par exemple la suffisance des dispositions de gestion des situations de perte totale de la source froide ou la suffisance des dispositions prévues pour les situations accidentelles dans les états d'arrêts. **Compte tenu de ce retour**

d'expérience, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF identifie au plus tôt, à partir des EPS, les dispositions complémentaires associées au RP3 N4.

2.2.5. Entreposage et manutention sous eau du combustible en piscine de désactivation

Ressuage des assemblages de combustible dans le bâtiment combustible (BK)

Le système d'examen du combustible comporte la cellule de ressuage destinée à recevoir les assemblages de combustible irradiés afin de confirmer, le cas échéant, des défauts d'étanchéité suspectés. Une fois fermée, la cellule isole l'assemblage à contrôler de l'eau de la piscine de désactivation. Pour la réalisation des mesures, les cellules sont alimentées en air comprimé, en électricité et en eau déminéralisée. Or, à la conception, ces équipements n'ont pas bénéficié d'exigences suffisantes pour garantir, dans les situations de perte des alimentations électriques externes (MDTE), le refroidissement de l'assemblage en cours de ressuage. Dans cette situation, l'ouverture du couvercle est nécessaire à l'évacuation de la puissance résiduelle de l'assemblage, mais n'est pas possible à l'aide de la perche de secours, tel qu'initialement envisagé par EDF, car son utilisation nécessite la disponibilité du pont-passerelle du BK qui n'est pas secouru électriquement.

Ce risque, identifié par l'IRSN dans l'avis [10], a conduit EDF à étudier rapidement une modification matérielle permettant d'ouvrir le couvercle à l'aide d'une pompe manuelle en cas de MDTE et à la déployer dans les meilleurs délais sur les réacteurs du palier 900 MWe – CPY et les réacteurs du palier 1300 MWe. Pour les réacteurs du palier N4 (ainsi que pour les réacteurs CP0 du Bugey), cette modification n'était cependant pas réalisable. Les cellules fixes du palier N4 disposant néanmoins d'une commande manuelle des électrovannes de manœuvre du couvercle, EDF s'était engagé, dans le cadre du dossier d'amendement RP2 lot B [11], à tester l'opérabilité de l'ouverture du couvercle, en l'absence d'alimentation en électricité et en eau déminéralisée. Toutefois, l'échec des essais d'ouverture du couvercle réalisés sur site a remis en cause l'efficacité de cette parade. EDF a donc pris la décision pour les réacteurs de ce palier (comme pour les réacteurs CP0 du Bugey), de laisser décroître la puissance résiduelle des assemblages de combustible avant leur ressuage, jusqu'à ce qu'elle soit inférieure à la puissance maximale que la cellule de ressuage permet d'évacuer [10].

Les dispositions précitées ont cependant été prises dans l'attente d'une solution pérenne. Pour les réacteurs de 900 MWe et de 1300 MWe, EDF prévoit de remplacer à terme les cellules de ressuage fixes actuellement présentes en piscine BK par une « flotte » de cellules de ressuage mobiles, qui pourront être déployées en fonction des besoins à partir de 2024. Toutefois, EDF a indiqué fin 2021, que l'utilisation des cellules mobiles n'était pas possible techniquement sur le palier N4 et a engagé une étude d'opportunité pour la rénovation des cellules BK fixes de ce palier. Les conclusions de cette étude n'ont pas encore été communiquées. **Ce point fait l'objet de Recommandation N° 5 présentée en annexe.**

Évacuation du combustible sous fosse

Pour ce qui concerne les opérations de manutention des assemblages de combustible dans le BK, une particularité des réacteurs du palier N4, par rapport aux réacteurs de 900 MWe – CP0/CPY et de 1300 MWe – P4, est qu'ils disposent d'un dispositif de manutention de l'emballage d'évacuation du combustible usé qui permet de le positionner en dessous de la fosse de chargement, de le remplir en eau de la piscine BK, puis d'ouvrir la trappe prévue en fond de fosse pour le charger avec les assemblages à évacuer. Ce dispositif, également présent sur les réacteurs de 1300 MWe – P'4, évite ainsi la manutention de l'emballage en hauteur à l'aide d'un pont et présente donc l'avantage d'éliminer le risque de chute d'emballage dans le BK. En revanche, des circuits sont connectés au dispositif de manutention pour assurer le refroidissement des assemblages placés dans l'emballage et leurs défaillances pourraient conduire à perdre ce refroidissement ou induire une vidange de la fosse et de la piscine BK. **Ce point fait l'objet de la Recommandation N° 6 présentée en annexe.**

2.2.6. Conduite incidentelle et accidentelle

Conduite informatisée et fiabilité des actions de conduite

La particularité du palier N4 est que la conduite des réacteurs, tant normale qu'incidentelle ou accidentelle, est effectuée avec des consignes et des commandes informatisées. Les postes des opérateurs pour cette conduite font partie du système informatique de conduite. En cas de défaillance de ce système, les opérateurs prennent des consignes papier et conduisent l'installation à partir du panneau auxiliaire.

Pour estimer l'impact de la conduite informatisée sur la fiabilité des actions de conduite réalisées par les opérateurs, EDF prévoit, à l'occasion du réexamen RP3 N4, de poursuivre sa campagne d'essais d'observations sur simulateur des équipes de conduite et de capitaliser les éléments issus de la conduite opérationnelle. Pour autant, EDF n'identifie pas de livrable sur ce thème dans le DOR RP3 N4. Selon l'IRSN, le bilan formalisé de ce REX doit être une donnée d'entrée du réexamen RP3 N4 pour permettre une expertise constructive de ce thème lors du réexamen. **Aussi, l'IRSN formule la Recommandation N° 7 présentée en annexe.**

Informations nécessaires à la conduite post-accidentelle en cas de conduite au KIC

L'interface homme-machine en salle de commande du palier N4 est assurée, en situation normale et en situation incidentelle ou accidentelle, par le KIC, tant que celui-ci est disponible.

Bien que le KIC puisse être utilisé en conduite incidentelle et accidentelle, seule la conduite au PA est valorisée dans la démonstration de sûreté. Aussi, seules certaines informations présentes au PA font l'objet d'exigences d'exploitation et en particulier de requis au titre des spécifications techniques d'exploitation.

Les informations nécessaires à la gestion d'une situation incidentelle ou accidentelle lorsque celle-ci est opérée depuis le KIC ne font l'objet d'aucune exigence spécifique. Dans l'avis [12], l'IRSN a identifié le risque qu'une situation incidentelle ou accidentelle soit gérée au KIC alors que certaines informations nécessaires à la conduite y sont indisponibles, mais EDF considère que les dispositions en place sont suffisantes pour prévenir ce risque.

L'IRSN estime que ceci mérite d'être consolidé par une analyse du retour d'expérience des défaillances des informations nécessaires à la conduite post-accidentelle depuis le KIC, en incluant une analyse de la suffisance des dispositions permettant l'identification et la restauration rapide de l'information défaillante.

Pour l'IRSN, cette analyse doit être une donnée d'entrée du réexamen RP3 N4 pour statuer sur la nécessité d'introduire des exigences d'exploitation sur les informations nécessaires à la conduite post-accidentelle depuis le KIC. **Aussi l'IRSN formule la Recommandation N° 8 présentée en annexe.**

3. CONCLUSION

En conclusion de son expertise, l'IRSN considère que la prise en compte par EDF des spécificités des réacteurs du palier N4 dans les orientations du troisième réexamen périodique des réacteurs du palier N4 est globalement satisfaisante, même si celle-ci mérite d'être complétée au regard des recommandations formulées en annexe.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2023-00011 DU 19 JANVIER 2023

Recommandations de l'IRSN

Recommandation N° 1

L'IRSN recommande qu'EDF présente, dans le cadre du RP3 N4, une synthèse des contrôles des ouvrages de génie civil réalisés, en présentant en particulier ceux portant sur les singularités des réacteurs du palier N4, notamment :

- l'écaillage de l'enceinte du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Civaux ;
- la zone de liaison entre le plancher des structures internes du niveau +6,00 m et l'enceinte interne ;
- le suivi du développement des pathologies au niveau du radier des réacteurs du site de Chooz B et du fût de l'enceinte des réacteurs du site de Civaux ;
- l'état des parements des bassins ;
- l'état des toitures et notamment des dômes.

Recommandation N° 2

L'IRSN recommande qu'EDF établisse un bilan qui montre que les équipements électriques classés de sûreté utilisés sur le palier N4 ont une durée de vie qualifiée suffisante pour couvrir la période de fonctionnement allant jusqu'à la quarantième année de fonctionnement de ces réacteurs.

Recommandation N° 3

L'IRSN recommande qu'EDF se fixe, à partir du RP3 N4, un critère de sûreté relatif à la maîtrise de la réactivité, pour les conditions de fonctionnement de dimensionnement (lors des phases court, moyen et long termes de l'accident), et complémentaires.

Recommandation N° 4

L'IRSN recommande que, en cas d'utilisation de signaux sismiques déconvolués pour étudier le comportement des ouvrages, EDF explicite la mise en œuvre de la méthode de déconvolution et justifie les hypothèses retenues au regard des incertitudes mises en avant par l'IRSN. Il s'agit notamment de la prise en compte de manière réaliste de la géométrie réelle du bâtiment et de la fouille, des caractéristiques du sol remanié et des profils de sol considérés dont le caractère enveloppe devra être justifié sur la base de reconnaissances de sol réalisées in-situ au droit de chacun des ouvrages d'un site.

Recommandation N° 5

L'IRSN recommande que, dans le cadre du RP3 N4, EDF réalise une revue de conception des cellules de ressuage des assemblages de combustible présentes dans les piscines BK ainsi que l'étude des modifications nécessaires à leur rénovation et au renforcement des exigences de sûreté associées pour rendre extrêmement improbable avec un haut degré de confiance le risque de fusion de combustible en cellule. Ces analyses devront tenir compte des exigences définies pour la conception des cellules de ressuage mobiles qu'EDF prévoit de déployer sur les autres paliers de réacteurs en exploitation.

Recommandation N° 6

L'IRSN recommande que, dans le cadre du RP3 N4, EDF réalise une revue de conception du dispositif de manutention des emballages de combustible usé pour garantir que les exigences définies pour ce dispositif sont suffisantes au regard de l'objectif de rendre extrêmement improbable avec un haut degré de confiance le risque de fusion de combustible dans le BK. Cette revue de conception doit notamment permettre d'identifier toutes les défaillances pouvant survenir pendant les opérations d'évacuation du combustible usé qui présentent un risque de dénoyage ou d'échauffement excessif d'assemblages de combustible.

Recommandation N° 7

L'IRSN recommande qu'EDF fournisse un bilan formalisé du retour d'expérience de l'utilisation de la conduite informatisée du palier N4. Ce retour d'expérience devra être issu des campagnes d'essais et de la conduite opérationnelle.

Recommandation N° 8

L'IRSN recommande qu'EDF :

- identifie les informations de conduite post-accidentelle nécessaires à la conduite des situations du domaine de dimensionnement et du domaine complémentaire depuis le KIC ;
- recense les défaillances de ces informations survenues depuis la mise en service des réacteurs du palier N4 ;
- analyse la suffisance des dispositions permettant l'identification et la restauration rapide de l'information défaillante.