



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 1<sup>er</sup> juillet 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2024-00099

**Objet : EDF – REP – Centrale nucléaire de Gravelines – INB 97  
Examen du rapport de conclusion du réexamen périodique du réacteur n° 3 à l'issue de sa quatrième visite décennale.**

Par la lettre en référence [1], l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) son avis technique concernant les conclusions tirées par EDF du réexamen périodique associé à la quatrième visite décennale (VD4) du réacteur n° 3 du Centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) de Gravelines. L'objectif est de permettre à l'ASN de statuer quant à la poursuite d'exploitation de ce réacteur.

À l'issue de la quatrième visite décennale du réacteur n° 3, EDF a adressé son rapport de conclusion du réexamen périodique (RCR) à l'ASN. Dans ce rapport, l'exploitant du CNPE de Gravelines évalue la conformité de son installation, ainsi que la complétude des modifications réalisées ou planifiées afin de remédier aux écarts constatés ou d'améliorer la sûreté de l'installation. Pour cela, l'exploitant utilise les études génériques conduites par EDF dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe (RP4-900).

L'analyse menée par l'IRSN de ce rapport porte sur la conformité du réacteur à son référentiel de sûreté, sur la maîtrise du vieillissement et de l'obsolescence, ainsi que sur la réévaluation de sûreté. Seules les thématiques présentant des spécificités du réacteur ou du site par rapport aux études génériques sont examinées.

### 1. RAPPEL DES ÉTUDES GÉNÉRIQUES CONDUITES PAR EDF DANS LE CADRE DU QUATRIÈME RÉEXAMEN PÉRIODIQUE

L'ASN a indiqué à EDF en 2016 sa position concernant les orientations du RP4 900 et en a fixé les objectifs à atteindre [2], à savoir :

- la vérification de l'état des installations et de leur conformité aux exigences qui leur sont applicables, en particulier concernant la maîtrise du vieillissement des équipements importants pour la sûreté ;
- l'amélioration de la prise en compte des agressions dans la démonstration de sûreté ;
- l'amélioration de la prévention des accidents conduisant à la fusion du cœur ;
- l'amélioration de la prise en compte des accidents susceptibles d'affecter la piscine d'entreposage du combustible ;
- la limitation des conséquences des accidents avec fusion du cœur ;

MEMBRE DE  
**ETSON**

- la réduction des conséquences radiologiques des accidents ;
- l'intégration de l'ensemble des modifications qui découlent des enseignements de l'accident survenu sur la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi.

Pour répondre à ces objectifs, EDF a engagé un ensemble d'études, à l'issue desquelles il a défini les dispositions à mettre en œuvre dans le cadre du réexamen de chacun des réacteurs concernés. Ces dispositions concernent, d'une part les contrôles et les vérifications à réaliser afin de s'assurer du maintien, dans le temps, de la conformité des systèmes, structures et composants participant à la démonstration de sûreté, d'autre part les améliorations de sûreté apportées afin de tendre vers le niveau de sûreté des réacteurs de troisième génération.

Dans le cadre de la vérification de la conformité des installations aux exigences de sûreté, l'exploitant réalise des contrôles spécifiques, avec l'examen de conformité des réacteurs, le programme d'investigations complémentaires, la maîtrise du vieillissement et de l'obsolescence, les essais particuliers, en complément des contrôles réalisés en exploitation courante. Dans le cadre du quatrième réexamen des réacteurs de 900 MWe, ces contrôles revêtent une importance particulière, certains matériels ou équipements ayant été conçus avec une hypothèse de durée de vie de 40 ans.

Pour ce qui est des exigences de sûreté réévaluées, le quatrième réexamen des réacteurs de 900 MWe coïncide notamment avec l'engagement de la troisième phase de déploiement des dispositions définies dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté, à savoir les dispositions du « noyau dur<sup>1</sup> » (ND).

Le périmètre de ce quatrième réexamen est plus étendu que celui des réexamens précédents. De ce fait, EDF a défini une stratégie spécifique de déploiement des modifications propres à ce réexamen. EDF considère que cette stratégie permet de maîtriser le volume des travaux pour l'ensemble du parc électronucléaire et d'échelonner la formation des agents EDF aux évolutions de l'exploitation des réacteurs induites par les modifications apportées.

Cette stratégie a abouti à un déploiement des modifications en deux phases distinctes, dites phases « A » et « B ». Les modifications de la phase A auront été réalisées au redémarrage du réacteur au terme de sa visite décennale. Les modifications de la phase B seront déployées au plus tard lors du deuxième arrêt pour renouvellement du combustible, de type « visite partielle », après la visite décennale, soit au plus tard quatre ans après cette visite décennale.

Les modifications décidées à l'issue de l'expertise de l'IRSN ou en réponse aux prescriptions techniques et demandes de l'ASN s'inscrivent dans une phase supplémentaire, dite « phase B complémentaire », qui est en cours de définition.

L'IRSN a élaboré une synthèse de ses expertises relatives à la phase générique du quatrième réexamen périodique de sûreté des réacteurs de 900 MWe mené par EDF [3], [4]. Ces expertises ont consisté d'une part à examiner les propositions d'EDF visant à maintenir la conformité des installations, d'autre part à évaluer la sûreté des installations au regard notamment des objectifs applicables aux réacteurs de nouvelle génération.

**En l'état actuel des expertises menées lors de la phase générique de ce réexamen, l'IRSN retient que le programme de modification des installations prévu par EDF devrait lui permettre de répondre aux objectifs fixés par l'ASN, moyennant des compléments significatifs à la démonstration de sûreté et des modifications**

---

<sup>1</sup> À la suite de l'accident survenu sur la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi, l'ASN a prescrit la mise en place, sur l'ensemble des réacteurs du Parc, d'un noyau dur de dispositions matérielles et organisationnelles robustes visant, pour les situations extrêmes étudiées dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté (cumul de perte totale de la source froide et de la perte des sources électriques externes et internes dû à une agression ou un cumul d'agressions), à :

- prévenir un accident avec fusion du combustible ou en limiter la progression ;
- limiter les rejets radioactifs massifs ;
- permettre à l'exploitant d'assurer les missions qui lui incombent dans la gestion d'une crise.

**d'installation supplémentaires.** Ces actions ont, pour la plupart, fait l'objet d'engagements de l'exploitant, dont une partie a été prescrite par décision de l'ASN. En complément, l'ASN a prescrit des dispositions supplémentaires qui ont été jugées nécessaires à l'atteinte des objectifs du réexamen [5].

## 2. ANALYSE DU RCR DU RÉACTEUR N° 3 DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE GRAVELINES

Le RCR du réacteur n° 3 de la centrale nucléaire de Gravelines a été établi par EDF à l'issue de son arrêt pour la quatrième visite décennale, qui s'est déroulé du 19 mars 2022 au 22 décembre 2022 (date du couplage au réseau électrique).

### 2.1. VÉRIFICATION DE LA CONFORMITÉ

L'exhaustivité des thèmes retenus par EDF pour les examens de conformité des tranches (ECOT), réalisés dans le cadre du RP4-900 au regard des objectifs de sûreté fixés lors des orientations des réexamens de sûreté associés, a été examinée par l'IRSN dans le cadre de l'avis en référence [6]. Les résultats de ces examens ont été examinés au fil de l'eau et traités lors du suivi de la VD4 du réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines. Dans ce cadre, EDF s'est engagé à remplacer les tuyauteries participant à la réalimentation gravitaire de la bêche du système d'alimentation de secours des générateurs de vapeur (ASG) de chaque réacteur, notamment en situation de perte totale de la source froide, pour lesquelles des zones de corrosion ont été détectées lors des ECOT. La modification temporaire de l'installation nécessaire au remplacement de ces tuyauteries fait l'objet de l'avis en référence [7].

Par ailleurs, le programme d'investigations complémentaires (PIC) a été expertisé par l'IRSN dans le cadre de l'avis en référence [8]. **Le RCR indique que les contrôles réalisés au titre du PIC sur le réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines n'ont révélé aucun écart. Néanmoins, deux des contrôles initialement prévus sur ce réacteur n'ont pas été réalisés.** EDF a reporté le premier de ces contrôles, relatif à la virole sur fond située en paroi interne de la bêche ASG, sur la VD4 du réacteur n° 2 du CNPE de Gravelines ; ce qui n'appelle pas de remarque. Le second contrôle, qui devait porter sur les soudures des tuyauteries d'aspiration des pompes ASG<sup>2</sup> situées en interne de la bêche de ce même circuit, n'a pas pu être réalisé du fait d'une spécificité du réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines, à savoir la présence d'un revêtement à l'intérieur de cette bêche. Au cours de l'expertise, EDF a justifié la non-réalisation du contrôle initialement prévu sur ces soudures sur la base des arguments suivants :

- le revêtement présent, contrôlé conforme par EDF<sup>3</sup>, confère aux pièces en acier des propriétés de protection contre la corrosion ;
- les autres types d'examen non destructifs disponibles n'ont pas été jugés pertinents par EDF, soit parce qu'ils nécessitaient la dépose du revêtement au risque de porter préjudice à la paroi métallique interne de la bêche ASG, soit parce qu'ils ne correspondaient pas au type de défauts recherchés.

De plus, EDF a jugé qu'il n'était pas nécessaire de reporter ce second contrôle sur un autre réacteur de 900 MWe du fait de sa conformité sur le réacteur n° 4 du CNPE du Bugey. **EDF a néanmoins précisé que le contrôle de ces soudures serait planifié sur deux autres réacteurs dans le cadre du PIC du cinquième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe (RP5-900).**

<sup>2</sup> Sur les réacteurs de 900 MWe, tels que ceux du CNPE de Gravelines, le système ASG comporte d'une part, deux motopompes disposées en parallèle et comportant un tronçon de tuyauterie commun d'aspiration dans la bêche ; d'autre part, une turbopompe disposant d'une tuyauterie d'aspiration dédiée dans la bêche.

<sup>3</sup> Au cours de l'expertise, EDF a précisé qu'un contrôle visuel du revêtement serait réalisé lors de l'arrêt du réacteur n° 3 de Gravelines pour son cinquième réexamen périodique afin de vérifier l'absence d'évolution depuis le contrôle réalisé lors de l'arrêt pour VD4.

L'IRSN rappelle, d'une part que le PIC a pour objectif de conforter, par sondage sur certains réacteurs lors d'un réexamen périodique de sûreté, les hypothèses d'insensibilité à des mécanismes de dégradation retenues dans certaines zones qui ne sont pas couvertes par un programme de maintenance, d'autre part qu'il a considéré que l'échantillon retenu par EDF pour la réalisation des contrôles au titre du PIC nécessitait des justifications complémentaires en termes notamment de spécificité des réacteurs retenus, de configurations représentatives de matériel ainsi que de répartitions adaptée entre les sites électronucléaires [8]. **Si EDF a depuis fourni les éléments de justifications tel qu'il s'y était engagé, l'IRSN relève que le présent exemple de contrôle non réalisé sur un réacteur du fait d'une spécificité et de non-report sur la VD4 d'un autre réacteur est contraire à l'objectif du PIC tel qu'il l'a expertisé [8]. Aussi, il appartient à EDF de ré-évaluer la nécessité d'un report du contrôle précédemment évoqué sur la VD4 d'un autre réacteur de 900 MWe, afin de disposer d'un échantillon représentatif eu égard à l'objectif du PIC rappelé ci-avant.**

Enfin, étant donné les modifications matérielles et les évolutions du référentiel d'exploitation prévues dans le cadre du quatrième réexamen, l'exploitant du réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines s'est assuré de l'absence de régression de la sûreté et de la disponibilité des systèmes importants pour la sûreté. Ces vérifications ont été réalisées notamment grâce à :

- des essais de requalification à la suite des modifications matérielles effectuées, pour valider la conception, la réalisation conforme sur le site de ces dernières et pour vérifier l'absence d'impact sur le fonctionnement des systèmes en interface ;
- des essais périodiques menés au titre du chapitre IX des règles générales d'exploitation (RGE), de périodicité décennale ou dix ans<sup>4</sup> ;
- des essais réglementaires, associés à une visite décennale, comme l'épreuve hydraulique du circuit primaire principal et l'essai visant à vérifier l'étanchéité de l'enceinte de confinement.

Selon le RCR, tous les essais réalisés lors de la VD4 du réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines ont été jugés satisfaisants.

Un examen des résultats de ces essais a été réalisé par sondage lors de différentes inspections de l'ASN avec l'appui de l'IRSN. **Ces examens n'ont pas mis en évidence d'éléments susceptibles de remettre en cause la poursuite de l'exploitation de ce réacteur.**

## 2.2. MAÎTRISE DU VIEILLISSEMENT

Le processus général de maîtrise du vieillissement appliqué aux réacteurs de 900 MWe a été précédemment expertisé par l'IRSN et les conclusions de cette expertise ont été présentées dans l'avis en référence [8], ainsi qu'à deux groupes permanents d'experts placés auprès de l'ASN, respectivement chargés des équipements sous pression et des réacteurs, lors des réunions des 15, 21 et 22 mars 2018 [9].

### 2.2.1. Piscine du bâtiment réacteur

Depuis 2004, la piscine située dans le bâtiment du réacteur (BR) n° 3 du CNPE de Gravelines présente une inétanchéité au niveau du compartiment permettant le stockage et le transfert des équipements internes de la cuve. Cette piscine est remplie d'eau uniquement au cours des arrêts du réacteur pour renouvellement du combustible, afin de permettre la manutention des assemblages de combustibles irradiés sous eau<sup>5</sup>. Aussi, l'inétanchéité de la piscine BR se manifeste lorsqu'elle est en phase de remplissage, par des écoulements d'eau collectés en premier lieu par le réseau de drainage des fuites de la piscine BR, et en second lieu par des moyens

<sup>4</sup> Un essai de périodicité décennale sera obligatoirement réalisé lors de la visite décennale du réacteur a contrario d'un essai de périodicité dix ans qui, lui, pourra être réalisé quel que soit le type d'arrêt ou même lorsque le réacteur est en fonctionnement si le chapitre IX l'autorise.

<sup>5</sup> L'eau joue le rôle de caloporteur, permettant d'évacuer la puissance résiduelle des assemblages, et de protection radiologique.

de collectes installés en sous face du génie civil de la piscine BR afin de ne pas impacter les matériels environnants, dont notamment ceux classés au titre de la sûreté. Selon EDF, cette inétanchéité aurait pour origine un ou plusieurs défaut(s) au niveau de la peau métallique (également appelée « liner ») en acier inoxydable recouvrant les parois internes en béton armé de la piscine BR. EDF précise néanmoins qu'elle n'affecte ni l'inventaire en eau de la piscine BR, ni les structures de génie civil, ni l'environnement.

Lors des arrêts du réacteur entre 2017 et 2020, EDF a mené une importante campagne d'examens non destructifs (END) au niveau du liner métallique en fond et au niveau des voiles de la piscine BR. L'ensemble des examens ainsi réalisés a permis la détection d'un défaut de soudage présent depuis la fabrication du liner, soit dès la construction du réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines. En 2020, ce défaut a fait l'objet d'une réparation par pose d'un patch soudé en acier inoxydable. À l'issue de cette réparation la fuite a significativement diminué mais n'a pas été totalement résorbée.

En amont de la VD4 du réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines, EDF a établi un état des lieux de l'évolution de la fuite depuis sa détection en 2004, ainsi que des contrôles réalisés dans le cadre de la campagne d'END mentionnée supra. EDF en tire principalement les conclusions suivantes :

- la forte diminution des débits de fuites observée depuis la réparation réalisée en 2020 est telle que le (les) défaut(s) résiduel(s) à l'origine de l'inétanchéité du liner est (sont) de faible(s) taille(s) ;
- les différentes méthodes d'END permettant la recherche de fuites sur les piscines BR, disponibles à ce jour, ont été déjà mises en œuvre sur le réacteur n° 3 de Gravelines et ne garantissent pas la détection de défauts situés dans les zones difficilement accessibles des piscines BR ou de faibles tailles comme celui (ceux) recherché(s) depuis 2020.

Aussi, pour les arrêts du réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines à compter de sa VD4, EDF a proposé une stratégie de traitement, qu'il considère adaptée aux enjeux de sûreté, comprenant notamment les actions suivantes :

- réaliser le suivi et la collecte de la fuite à chaque phase de remplissage et de vidange de la piscine BR en s'assurant de l'absence d'impact sur le maintien de son inventaire en eau et sur les matériels environnants ;
- contrôler visuellement l'ensemble des parois du génie civil à l'extérieur et en sous-face de la piscine BR en traçant les éventuelles évolutions de l'état du béton.

Par ailleurs, EDF a précisé que l'analyse de l'évolution de l'inétanchéité à la fin de chaque arrêt du réacteur, résultant des contrôles évoqués ci-avant, l'amènerait à se réinterroger sur la stratégie de traitement en cas de dérive négative. En particulier, une évolution significative à la hausse du débit de fuite permettrait de mettre en œuvre une technique d'END de type hydrophonie, n'ayant pas pu être mise en œuvre jusqu'à présent.

Dans le cadre de l'expertise [10] relative à la sûreté de l'entreposage et de la manutention du combustible, le suivi en exploitation des piscines BR a fait l'objet d'engagements de la part d'EDF. En particulier, **EDF s'était engagé à présenter, à l'horizon 2021, le résultat de ses investigations sur les méthodes de contrôle et de détection de fuites en vue d'établir une stratégie de maintenance des liners des piscines BR.** Depuis, EDF a présenté l'état d'avancement de ses investigations et a indiqué qu'un nouveau type d'END capable de détecter des défauts liés à de la corrosion sous contrainte était en cours de développement. Ainsi, à ce jour, la stratégie de maintenance des liners de piscines BR n'est pas encore figée. **Aussi, il appartiendra à EDF de tirer les conclusions des investigations mentionnées ci-avant afin de traiter de manière pérenne le(s) défaut(s) du liner qui en est (sont) à l'origine. D'une manière plus générale, il appartiendra également à EDF de tenir compte de ce retour d'expérience dans le cadre de l'élaboration de la stratégie de maintenance des piscines BR en cours.**

Pour ce qui concerne l'impact de l'inétanchéité du liner de la piscine BR sur les parois du génie civil, l'IRSN estime satisfaisant la réalisation de contrôles visuels à chaque arrêt de réacteur. **Sur ce point, l'IRSN souligne qu'il appartient à EDF d'assurer un suivi de l'évolution des éventuels défauts relevés en tenant compte des requis d'étanchéité et de tenue structurelle des parois de la piscine BR, ainsi que des matériels environnants dont les tuyauteries et supportages qui pourraient être affectées par la fuite (lignes de filtration par exemple). De plus,**

**l'IRSN rappelle qu'un tel suivi peut nécessiter des travaux de nettoyage des parois afin d'identifier plus aisément de nouveaux défauts et/ou l'évolution des défauts précédemment relevés.**

### 2.2.2. Paroi moulée

Dans le dossier d'aptitude à la poursuite de l'exploitation du réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines, EDF affirme que le vieillissement de la paroi moulée du site de Gravelines est maîtrisé et permet la poursuite de l'exploitation pendant la période décennale suivant la VD4 (VD4-VD5). Le vieillissement de cette structure a récemment fait l'objet d'une expertise de l'IRSN dans le cadre de l'instruction des RCR VD3 des réacteurs n° 5 et 6 de Gravelines [11]. Dans ce cadre, l'IRSN a formulé une recommandation relative au maintien du fonctionnement de la source froide en cas de ruine de la paroi moulée. **En l'absence d'éléments nouveaux apportés par EDF depuis l'expertise des derniers RCR de Gravelines, l'IRSN estime que la recommandation n° 2 de l'avis [11], rappelée en annexe 1, est également applicable au réacteur n° 3 de Gravelines.**

Toutefois, au cours de la VD4 du réacteur n° 3, EDF a intégré une modification lui permettant de disposer d'ores et déjà d'une source froide diversifiée pour le refroidissement du réacteur en cas d'aléa majeur. Cette modification, provisoire, sera remplacée avant la fin 2024 par un dispositif durable remplissant les mêmes objectifs, y compris dans l'hypothèse d'un séisme de magnitude à même de menacer l'intégrité de la paroi moulée.

### 2.2.3. Source froide

Sur les réacteurs de 900 MWe, tels que ceux présents sur le CNPE de Gravelines, le circuit d'eau brute secourue (SEC) a pour rôle d'évacuer la chaleur du circuit de réfrigération intermédiaire (RRI) qui assure, dans toutes les configurations de fonctionnement, la réfrigération des circuits auxiliaires nucléaires et des circuits de sauvegarde du réacteur.

Sur le CNPE de Gravelines, les tuyauteries du circuit SEC sont en acier recouvert à l'intérieur de néoprène afin de protéger le métal de la corrosion. Le néoprène peut toutefois faire l'objet de percements. L'acier découvert subit alors un phénomène de corrosion cavernueuse, pouvant mener en moins d'un cycle de fonctionnement au percement de la tuyauterie.

À plusieurs reprises en cours d'exploitation, des fuites sont survenues sur ces tuyauteries affectant la disponibilité de la source froide et conduisant à des mises à l'arrêt de réacteurs pour engager des réparations. Aussi, à partir de 2018, EDF a engagé un programme de rénovation intégrale des tuyauteries SEC du réacteur n° 3 du CNPE Gravelines. Ce programme de rénovation a porté d'une part sur le revêtement interne en néoprène (réparation ou réfection complète selon les cas), d'autre part sur les tronçons de tuyauteries eux-mêmes (rechargement ou remplacement à neuf de tronçons de tuyauterie selon le degré de perte d'épaisseur).

À l'issue de la VD4 du réacteur n° 3 de Gravelines, EDF considère que l'ensemble des tuyauteries du circuit SEC a été traité dans le cadre du programme de rénovation précédemment mentionné. Néanmoins, dans le cadre de son expertise, l'IRSN a relevé que des tuyauteries SEC, de faible diamètre<sup>6</sup>, présentant des épaisseurs inférieures aux épaisseurs minimales admises à la fabrication étaient maintenues en l'état par EDF sur la base de calculs de tenue mécanique<sup>7</sup>. **EDF a précisé que ces tuyauteries feraient l'objet de mesures d'épaisseur par ultrasons lors des prochaines campagnes d'END prévues au cours des arrêts de réacteurs de 2024 et 2026 selon la file du circuit considérée.**

<sup>6</sup> Ces tuyauteries de faibles diamètres sont reliées aux tuyauteries SEC principales de plus gros diamètres. EDF parle de « piquages » SEC.

<sup>7</sup> Il s'agit de notes de calculs mécaniques visant à démontrer la tenue des tuyauteries aux différents cas de chargement considérés à la conception, à savoir : la pression, le poids propre et le séisme.

Par ailleurs, pour ce qui concerne la réparation du revêtement interne par pose de patch en néoprène, l'IRSN rappelle qu'EDF s'est engagé à réaliser des contrôles télévisuels sur des tronçons de tuyauteries SEC concernés par ce type de réparation, lors de deux arrêts consécutifs du réacteur n° 5 du CNPE de Gravelines. Ces contrôles doivent permettre d'apporter la preuve de la tenue dans le temps de ce type de réparation également réalisée sur le circuit SEC du réacteur n° 3. Aussi, en fonction des résultats de ces contrôles, il appartiendra à EDF d'en tirer les conclusions adéquates pour ce qui concerne le circuit SEC du réacteur n° 3.

Au vu des travaux réalisés sur le circuit SEC du réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines et des dispositions prévues par EDF évoquées ci-avant, l'IRSN n'a pas de remarques complémentaires quant à l'état et au maintien de ce circuit à l'issue de la VD4.

## 2.3. RÉÉVALUATION DE LA SÛRETÉ

Pour ce qui concerne la réévaluation de sûreté, pour la majorité des thématiques, soit aucune spécificité n'est à signaler pour le réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines, soit ces spécificités ont été abordées dans le cadre des analyses génériques et, à ce stade, ont été traitées tel que prévu à l'issue des expertises. Cependant, le site de Gravelines étant situé au bord de la Mer du Nord et dans un environnement industriel important, seuls les risques induits par les agressions « inondation externe », « séisme » et « grands chauds », ainsi que par l'environnement industriel appellent des remarques de la part de l'IRSN.

### 2.3.1. Inondation externe

Dans le cadre du réexamen RP4-900, EDF a vérifié la robustesse des installations face aux situations de référence pour l'étude du risque d'inondation (SRI) du guide ASN n° 13 relatif à la protection des INB contre les inondations externes.

L'IRSN a expertisé les SRI du guide ASN n° 13 applicables au site du Tricastin dans le cadre du GPR<sup>8</sup> « Agressions VD4-900 » [12] (hormis les SRI PLU (pluies locales), RNP (remontée de nappe phréatique) [13] et le volet « statistique » de la SRI CGB (crue sur un grand bassin versant)<sup>9</sup> [14]), ainsi que les SRI NMA (niveau marin) et SEI (seiche)<sup>10</sup> pour les sites de Gravelines et du Blayais [12].

À l'issue de ces expertises, l'IRSN a formulé des « positions méthodologiques » pour l'ensemble des sites d'EDF. Pour ce qui concerne la SRI VAG (vagues), la méthodologie a fait l'objet d'une expertise en 2015 lors du GPR « Aléas noyau dur » [15].

Sur le site de Gravelines, les risques liés aux SRI CGB (Crue sur un grand bassin versant), ROR (Rupture d'un ouvrage de retenue) et CPB (Crue sur un petit bassin versant) sont exclus.

Par ailleurs, la SRI « Dégradations ou dysfonctionnements d'ouvrages, de circuits ou d'équipements » (DDOCE) et les dispositions associées ont été expertisées par l'IRSN pour le site du Tricastin, dans le cadre du GPR « Agressions VD4-900 » [12]. Or, pour les autres sites du palier CPY dont celui de Gravelines, il n'est pas prévu d'expertiser cette SRI.

Les SRI RNP et PLU ont été expertisées par l'IRSN pour l'ensemble des sites d'EDF respectivement dans le cadre des avis [13] et [16]. Ces expertises ne portent que sur la caractérisation de ces SRI ; les dispositions de protection associées mises en œuvre sur les installations ne font pas partie du périmètre de ces expertises.

<sup>8</sup> Groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires.

<sup>9</sup> La caractérisation de la SRI CGB est divisée en deux volets : le volet « statistique » (définition du débit de référence de la crue) et le volet « écoulement » (définition des hydrogrammes de référence, des modèles hydrauliques et in fine des niveaux de référence associés à la SRI CGB).

<sup>10</sup> Une seiche est une onde stationnaire qui peut se manifester dans des plans d'eau fermés ou semi-fermés tels qu'un port, un bassin, un lac ou une baie. Dans un bassin maritime semi-fermé, les seiches sont dues à la pénétration d'ondes longues provenant du large.

Pour ce qui concerne la définition du niveau de référence associé à la SRI RNP, l'IRSN [13] a constaté, pour le site de Gravelines, une faible marge entre le niveau de référence de la nappe calculé et le niveau le plus haut observé. De plus, le niveau initial de la nappe considéré pourrait être sous-estimé au vu de la période d'acquisition des données étudiée. Toutefois, EDF estime que la démonstration de sûreté est vérifiée d'après ses hypothèses (protection volumétrique et tenue structurelle des bâtiments garanties en considérant un niveau de nappe affleurant au niveau de la plateforme, dimensionnant pour ces études). EDF va toutefois poursuivre le suivi du comportement de la nappe via l'exploitation des mesures piézométriques installées sur le site.

Pour la SRI PLU, l'IRSN a estimé [16] que l'approche mise en œuvre est globalement satisfaisante et conforme au guide ASN n° 13. Les pluies de référence et les lames d'eau présentées dans le dossier du site de Gravelines sont acceptables dans le cadre du réexamen RP4 900. **Toutefois, l'IRSN considère que des compléments devraient être apportés dans le cadre de la prochaine évaluation de la SRI PLU, afin de conforter la définition des pluies de référence notamment en regard d'approches statistiques régionales. Ces points ont fait pour la plupart l'objet d'engagements de la part d'EDF, qui sont satisfaisants dans le principe.**

Par ailleurs, le site de Gravelines dispose d'une protection contre l'inondation d'origine externe induite par un débordement de la source froide. À la suite de l'accident de Fukushima, des niveaux d'eau supérieurs à ceux pris en compte dans le référentiel inondation externe ont été déterminés afin d'assurer la protection des systèmes et composants du « noyau dur ». Une modification de la protection existante contre l'inondation externe a donc été réalisée afin de créer une nouvelle protection au niveau des zones qui n'en disposent pas. Elle consiste à relever la hauteur d'arase de la protection périphérique via la création d'une digue de protection, l'installation de palplanches, la mise en place de portails étanches, la mise en place de dalles de couverture sur les caniveaux de la source froide, et la suppression de by-pass de la protection périphérique. Dans la mesure où le niveau d'aléa du scénario « post-Fukushima » est supérieur à celui retenu en application des niveaux d'exigence de l'ASN, EDF considère que cette modification répond également à l'objectif de déclinaison de ces exigences. **L'IRSN a expertisé cette modification et a estimé que la méthodologie d'EDF pour dimensionner la protection périphérique est cohérente avec les exigences de l'ASN ; son déploiement est achevé depuis fin 2022 sur l'ensemble du site de Gravelines.**

### 2.3.2. Séisme

#### Définition de l'aléa sismique retenu pour le CNPE de Gravelines :

Les spectres associés aux deux séismes majorés de sécurité (SMS) retenus pour le site de Gravelines (séismes de Colchester de 1884 et de la Manche 1580) ont été réévalués dans le cadre du quatrième réexamen périodique. **L'IRSN considère que les spectres associés à ces SMS sont acceptables.**

La règle fondamentale de sûreté (RFS) associée à la caractérisation du risque sismique préconise qu'au vu de la vitesse des ondes de cisaillement dans les 30 premiers mètres une étude spécifique soit réalisée pour la caractérisation des effets de site particuliers<sup>11</sup>. Dans le cadre du quatrième réexamen périodique et des études « noyau dur », EDF a donc présenté une étude spécifique qui conduisait à exclure la présence d'effets de site particuliers dans la plage de fréquence d'intérêt pour les structures (au-delà de 1 Hz). Par conséquent, EDF retient le niveau d'aléa sans prise en compte des effets de site particuliers pour la centrale nucléaire de Gravelines. **L'IRSN a jugé inadapté l'étude d'EDF et a recommandé qu'un complément d'études relatif à la caractérisation des effets de site particuliers de la centrale nucléaire de Gravelines soit réalisé [17].**

<sup>11</sup> Un effet de site particulier est l'impact de la géologie locale du site sur le mouvement sismique ; il peut conduire à des amplifications du mouvement sismique dans certaines plages de fréquence et à un allongement de la durée de la secousse. Selon la RFS 2001-01 il existe des configurations géologiques propices aux effets de site particuliers : sols avec vitesse des ondes de cisaillement dans les premiers 30 mètres inférieures à 300 m/s ; cuvettes sédimentaires ; fortes épaisseurs de sédiments. Dans ces configuration une étude spécifique doit être conduite.

À cet égard, l'ASN a demandé [15] à EDF de caractériser pour le site de Gravelines la géométrie des couches géologiques et les propriétés du sol en profondeur, incluant le substratum, par le biais de mesures géophysiques et géotechniques et de réviser l'étude numérique relative aux effets de site. Les éléments transmis par EDF, en réponse à cette demande de l'ASN [15], ont fait l'objet d'une expertise [18] qui a notamment porté sur :

- la méthode proposée par EDF pour caractériser les effets de site particuliers 1D, au titre des fortes épaisseurs de sédiments ;
- le spectre sismique associé au niveau SMS retenu pour le site de Gravelines à l'issue de l'application de cette méthode.

À l'issue de cette expertise [18], **l'IRSN a émis des réserves sur la méthode proposée par EDF pour caractériser les effets de site particuliers, dont certaines concernent des hypothèses et choix d'EDF retenus pour l'évaluation des spectres spécifiques du site de Gravelines.** Il s'agit de réserves, d'une part sur la définition des vitesses des ondes de cisaillement dans la colonne de sol dite « *best-estimate* » et l'investigation de la variabilité associée, d'autre part sur la méthode retenue par EDF pour prendre en compte le phénomène de diffusion des ondes sismiques dans les colonnes de sol. **Ces deux points font l'objet des recommandations n° 1 et n° 2 de l'avis [18], rappelées en annexe 1.**

Par ailleurs, l'IRSN a relevé qu'EDF devrait compléter sa méthode de calcul de la propagation sismique en évaluant l'impact sur le spectre spécifique d'autres mouvements sismiques que ceux issus de la loi de prédiction<sup>12</sup> qu'il retient, en se fondant sur les connaissances les plus à jour en la matière. En particulier, il apparaît que dans le cas des sites soumis à un comportement de sol non-linéaire, tels que celui de Gravelines, un lien ne peut pas être établi entre le mouvement dans le substratum rocheux et le spectre spécifique. Aussi, **l'IRSN a estimé que l'impact des mouvements sismiques dans le substratum rocheux sur le spectre spécifique, notamment pour le site de Gravelines soumis à un comportement non-linéaire du sol, devra être évalué par EDF. Ce point fait l'objet de la recommandation n° 3 de l'avis [18], rappelée en annexe 1.**

#### **Tenue des structures, systèmes et composants à l'aléa sismique retenu :**

Il est à noter que, pour des fréquences inférieures à 0,7 Hz, les spectres spécifiques du site de Gravelines dépassent les spectres génériques issus de la loi de prédiction du mouvement sismique de la RFS 2001-01 pour des conditions « alluvions ». Aussi, dans le cadre de l'expertise [18], **l'IRSN a recommandé<sup>13</sup> qu'EDF justifie l'absence d'impact des spectres spécifiques du site de Gravelines sur le comportement des ouvrages de génie civil dont les fréquences d'intérêts sont inférieures à 0,7 Hz, ainsi que sur le comportement des systèmes et des composants.** Par la suite, lors du GPR « Orientations-RP5 900 », EDF a précisé que les conclusions quant à l'analyse d'impact de ces spectres spécifiques figuraient dans le RCR du réacteur n° 3 de Gravelines. À ce titre, EDF y indique que l'analyse menée sur les ouvrages d'eau, la salle des machines ainsi que sur les matériels classés au titre de la sûreté présents dans la station de pompage a démontré la justification des structures et matériels au niveau de séisme SMS réévalué dans le cadre de la VD4.

**Ces éléments sont à même de répondre à la recommandation de l'IRSN en termes de justification du bon comportement des ouvrages, des systèmes et des composants pour les deux spectres d'aléa sismique (issu de la loi de prédiction de la RFS 2001-01 pour des conditions de site « alluvions » et spécifique). Pour autant, l'IRSN n'a pas expertisé les études supports associées, et n'est donc pas en mesure de se prononcer sur l'exhaustivité des ouvrages de génie civil pris en compte par EDF eu égard à leur sensibilité aux fréquences inférieures à 0,7 Hz. Dans le principe, l'IRSN rappelle que les éléments évoqués ci-avant devraient être présentés dans le rapport de sûreté des réacteurs du site de Gravelines associé au RP5.**

<sup>12</sup> Dans le cadre de l'étude expertisée par l'IRSN, EDF a retenu une loi de prédiction pour des conditions au « rocher » afin de définir le mouvement sismique dans le substratum rocheux.

<sup>13</sup> Ce point fait l'objet de la recommandation n° 5 de l'avis [18].

Par ailleurs, en cohérence avec la demande de l'ASN [15], il appartiendra à EDF de transposer les enseignements issus de la prise en compte de la recommandation de l'IRSN mentionnée supra [18] au niveau de séisme « noyau dur »<sup>14</sup>. En effet, l'IRSN relève que l'analyse menée par EDF ne concerne pas le bâtiment abritant le diesel d'ultime secours dont les fréquences d'intérêt principales sont situées précisément dans la gamme de fréquences concernée par les amplifications dues à l'effet de site particulier.

### 2.3.3. Grands chauds

Dans le cadre du réexamen RP4-900, l'IRSN a analysé le niveau d'aléa retenu par EDF ainsi que le bilan des études thermiques réalisées par EDF pour vérifier la tenue en température des matériels classés de sûreté en situation d'agression « grands chauds ».

Les études thermiques de l'îlot nucléaire sont généralement réalisées en retenant, pour les scénarios de canicule, la température exceptionnelle (TE) du site le plus pénalisant du palier CPY, à savoir la centrale nucléaire du Tricastin. Les études de l'îlot conventionnel sont quant à elles réalisées avec la TE du site<sup>15</sup>.

Pour le site de Gravelines, EDF propose de retenir la TE de Gravelines plutôt que celle du Tricastin, jugée trop pénalisante, pour les études thermiques de certains locaux. Dans l'attente de la prise en compte de la TE de Gravelines dans le référentiel local, le déploiement du référentiel VD4 a nécessité plusieurs modifications temporaires des RGE, du fait du non-respect de plusieurs critères minimums de débit de ventilation<sup>16</sup>.

La première concerne les locaux des groupes électrogènes de secours à moteur Diesel, dont les critères pourraient être amenés à évoluer à la baisse à l'avenir, et la seconde concerne la station de pompage, dont le système de ventilation a nécessité une adaptation matérielle. **Ces modifications temporaires des RGE ont été expertisées par l'IRSN ([19] et [20]) et autorisées par l'ASN.**

### 2.3.4. Maîtrise du risque industriel

L'étude des risques liés aux transports de matières dangereuses par voie maritime<sup>17</sup> aux abords de la centrale nucléaire de Gravelines a été mise à jour par EDF à la suite du 3<sup>e</sup> réexamen de sûreté du réacteur n° 1 de cette dernière, et récemment expertisée par l'IRSN dans le cadre du rapport de conclusion du 3<sup>e</sup> réexamen de sûreté des réacteurs n° 5 et 6 [11]. À cette occasion, l'IRSN a constaté que le résultat du calcul probabiliste d'EDF réalisé dans l'étude dépasse le critère probabiliste de la RFS I.2.d<sup>18</sup>. À cet égard, aucun nouvel élément n'a été fourni par EDF depuis cette dernière expertise. De plus, de nombreuses modifications matérielles et intellectuelles ont été apportées par EDF au réacteur n° 3 de Gravelines lors de son quatrième réexamen périodique, auquel s'appliquent de nouvelles exigences de sûreté. **Ce point a fait l'objet de la recommandation n° 1 de l'avis [22], rappelée en annexe 1 et également applicable au réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines.**

<sup>14</sup> Dans le cadre de l'instruction relative aux agressions extrêmes à prendre en compte pour la mise en place du « noyau dur », l'ASN a demandé [15] à EDF de réviser l'étude relative aux effets de site également pour le spectre probabiliste à 20 000 ans correspondant au niveau de séisme « noyau dur ».

<sup>15</sup> Certaines températures du référentiel « grands chauds » ont évolué à la suite du quatrième réexamen périodique des réacteurs du palier CPY. C'est notamment le cas pour le réacteur n° 3 du site de Gravelines qui a vu sa TE passer de 38 °C à 43,1 °C.

<sup>16</sup> Ces critères n'ont pu être vérifiés du fait de la présence de dispositifs de protection des ventilations tels des clapets anti-explosion ou des boucliers anti-souffle.

<sup>17</sup> Pour ce qui concerne les risques liés aux installations industrielles environnantes et aux voies de communication autres que le transport maritime, la déclinaison par EDF de sa méthodologie pour le site de référence retenu, à savoir Tricastin qui est l'un des sites du palier 900 MWe les plus exposés à ces risques, une expertise est en cours à la demande de l'ASN.

<sup>18</sup> La règle fondamentale de sûreté RFS 1.2.d précise que l'ordre de grandeur de la probabilité maximale pour accepter l'éventualité d'un dégagement inacceptable de substances radioactives à la limite du site est de  $10^{-6}$  par an et par réacteur pour l'ensemble des agressions d'origine externe liées aux activités humaines. Toutefois, la RFS 1.2.d fixe pour chaque famille de source d'agressions (« environnement industriel », « transport de matières dangereuses » et « canalisation de transport ») une probabilité maximale de  $10^{-7}$  par an et par réacteur.

De même, l'IRSN avait réalisé une expertise en 2014 portant sur les interactions possibles entre la centrale de Gravelines et le dépôt pétrolier des « Appontements Pétroliers des Flandres (APF) » et les risques induits par la potentielle inflammation d'une nappe d'hydrocarbures présente dans le canal d'amenée [21]. Ce risque peut également être induit par la dérive de nappes d'hydrocarbures au large de l'avant-port Ouest de Dunkerque. Or, au cours de l'expertise relative au rapport de conclusion du 3<sup>e</sup> réexamen de sûreté des réacteurs n° 5 et 6 [11], EDF n'a pas présenté d'éléments permettant de démontrer que l'inflammation d'une nappe d'hydrocarbures n'induit pas des effets thermiques sur les cibles situées à proximité de la berge (dont la station de pompage et les bâches SEK<sup>19</sup>, KER<sup>20</sup> et TER<sup>21</sup>). **Au regard des évolutions apportées par le quatrième réexamen périodique du réacteurs, l'IRSN estime qu'EDF doit apporter de tels éléments. Ce point a fait l'objet de la recommandation n° 2 de l'avis [22], rappelée en annexe 1 et également applicable au réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines.**

### 3. CONCLUSION

En l'état actuel de son examen des études génériques réalisées par EDF et des modifications entreprises ou envisagées dans le cadre du réexamen de sûreté associé à la quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe, l'IRSN juge satisfaisant le référentiel des exigences de sûreté applicable à ces réacteurs à l'issue des VD4 au regard des objectifs fixés pour ce réexamen.

**Sous réserve de la prise en compte des recommandations formulées en annexe 1, l'IRSN estime qu'aucune particularité propre au réacteur n° 3 du CNPE de Gravelines n'est de nature à remettre en cause les conclusions des études génériques, ainsi que les dispositions retenues qui en découlent.**

**En particulier, les conditions dans lesquelles ce réacteur a redémarré, à l'issue de son arrêt pour la VD4, apparaissent satisfaisantes, notamment au vu des résultats des essais et des contrôles réalisés, ainsi que des engagements pris par l'exploitant.**

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

---

<sup>19</sup> Système de collecte et d'entreposage des effluents afférents au circuit secondaire.

<sup>20</sup> Système de collecte et d'entreposage des effluents de l'îlot nucléaire.

<sup>21</sup> Réservoirs complémentaires de sécurité pour les effluents liquides.

# ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2024-00099 DU 1<sup>ER</sup> JUILLET 2024

## Rappel de recommandations issues d'avis antérieurs de l'IRSN

### Rappel de la recommandation n° 2 de l'avis IRSN n° 2023-00049 du 31 mars 2023

L'IRSN recommande qu'EDF démontre que, en cas de ruine de la paroi moulée sous l'effet d'un séisme, le débit d'eau nécessaire au refroidissement des systèmes de sûreté est garanti et que cela ne conduit pas à la perte de la source froide des réacteurs de la centrale de Gravelines.

### Rappel de la recommandation n° 1 de l'avis IRSN n° 2023-00182 du 12 décembre 2023

L'IRSN recommande que, dans le cadre des prochaines applications de la méthode d'évaluation des effets de site particuliers, pour les calculs de propagation des ondes sismiques, EDF définisse des vitesses des ondes de cisaillement dans les colonnes de sol cohérentes avec les données disponibles. En particulier, ces vitesses doivent être représentatives des mesures « *cross-hole* » en forage, et s'appuyer, pour la partie profonde, sur l'ensemble des mesures de bruit sismique (« SWDA » et « H/V »). La prise en compte de leur variabilité devra s'appuyer sur l'incertitude associée aux mesures.

### Rappel de la recommandation n° 2 de l'avis IRSN n° 2023-00182 du 12 décembre 2023

L'IRSN recommande que, dans le cadre des prochaines applications de la méthode d'évaluation des effets de site particuliers, pour la définition des colonnes de sol, EDF ne prenne pas en compte à la fois les fluctuations à petite échelle des vitesses des ondes de cisaillement et l'amortissement complémentaire à faible distorsion.

### Rappel de la recommandation n° 3 de l'avis IRSN n° 2023-00182 du 12 décembre 2023

L'IRSN recommande que, dans le cadre des prochaines applications de la méthode d'évaluation des effets de site particuliers, pour les sites dont le sol présente un comportement non-linéaire et notamment celui de Gravelines, EDF conduise une étude de l'impact sur le spectre spécifique de la définition du mouvement sismique dans le substratum rocheux. EDF devra intégrer les connaissances récentes en matière de définition du mouvement dans le substratum rocheux et de lois de prédiction du mouvement sismique.

### Rappel de la recommandation n° 1 de l'avis IRSN n° 2023-00142 du 27 septembre 2023

Au regard des évolutions matérielles et intellectuelles apportées au cours du quatrième réexamen de sûreté du réacteur n° 1 de la centrale de Gravelines, l'IRSN recommande qu'EDF démontre de manière déterministe que les conséquences sur la sûreté des effets associés aux phénomènes dangereux résultant d'un accident du transport maritime de matière dangereuses seraient acceptables. En cas de conséquences sur la sûreté, EDF devra définir et mettre en œuvre les dispositions nécessaires permettant de maîtriser ces risques.

### Rappel de la recommandation n° 2 de l'avis IRSN n° 2023-00142 du 27 septembre 2023

Au regard des évolutions matérielles et intellectuelles apportées au cours du quatrième réexamen de sûreté du réacteur n° 1 de la centrale nucléaire de Gravelines, l'IRSN recommande qu'EDF s'assure que les dispositions prises en cas d'incendie d'une nappe de gazole au niveau du canal d'amenée permettent de protéger les cibles situées à proximité de la berge (dont la station de pompage et les bâches SEK, KER et TER).

## ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2024-00099 DU 1<sup>ER</sup> JUILLET 2024

### Références

- [1] Saisine ASN – CODEP-DCN-2021-026459 du 21 juin 2021.
- [2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2016-007286 du 20 avril 2016.
- [3] Avis IRSN – 2020-00053 du 31 mars 2020.
- [4] Avis IRSN – 2023-00048 du 31 mars 2023.
- [5] Décision de l'ASN – 2021-DC-0706 du 23 février 2021.
- [6] Avis IRSN – 2019-00048 du 6 mars 2019.
- [7] Avis IRSN – 2024-00056 du 16 avril 2024
- [8] Avis IRSN – 2018-00043 du 23 février 2018.
- [9] Lettre ASN – CODEP-MEA-2018-014211 du 2 mars 2018.
- [10] Avis IRSN – 2019-00294 du 20 décembre 2019
- [11] Avis IRSN – 2023-00049 du 31 mars 2023.
- [12] Avis IRSN – 2019-00019 du 6 février 2019.
- [13] Avis IRSN – 2022-00012 du 27 janvier 2022.
- [14] Avis IRSN – 2022-00068 du 5 avril 2022.
- [15] Lettre ASN – CODEP-DCN-2016-016677 du 19 juillet 2016.
- [16] Avis IRSN – 2022-00098 du 5 mai 2022.
- [17] Avis IRSN – 2015-00421 du 22 décembre 2015.
- [18] Avis IRSN – 2023-00182 du 12 décembre 2023.
- [19] Avis IRSN – 2022-00081 du 22 avril 2022.
- [20] Avis IRSN – 2022-00147 du 12 juillet 2022.
- [21] Avis IRSN – 2014-00340 du 12 septembre 2014.
- [22] Avis IRSN – 2023-00142 du 27 septembre 2023.