

Fontenay-aux-Roses, le 26 juillet 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00163

Objet : PT-ECS-ND14 – Réacteurs électronucléaires de 900 MWe – Vérification de la résistance structurelle des piscines de désactivation et des compartiments de manutention des assemblages combustibles vis-à-vis d'un séisme noyau dur (SND) et évaluation des spectres de plancher des bâtiments combustibles.

Réf. : [1] Décision ASN – 2014-DC-0412 du 21 janvier 2014.
[2] Saisine ASN – CODEP-DCN-2021-014871 du 12 mars 2021.
[3] Décision ASN – 2021-DC-0706 du 23 février 2021.
[4] Lettre ASN – CODEP-DCN-2021-024717 du 27 août 2021.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre des évaluations complémentaires de sûreté (ECS) menées à la suite de l'accident de Fukushima-Daiichi, par la décision citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a fixé à EDF des prescriptions complémentaires applicables aux sites électronucléaires. En particulier, la prescription technique (PT) ECS-ND14, applicable aux 19 centres nucléaires de production d'électricité du parc en exploitation, demande à EDF de transmettre, avant le 31 décembre 2015, l'étude de la résistance structurelle des piscines d'entreposage et des compartiments de manutention des assemblages combustibles aux agressions externes retenues pour le noyau dur, ainsi que la description des éventuelles modifications nécessaires pour garantir leur résistance.

Pour ce qui concerne les réacteurs de 900 MWe, les études de vérification concernant la résistance structurelle au séisme noyau dur (SND) ont été menées sur les sites du Bugey, du Tricastin, de Gravelines et de Chinon. EDF considère que ces sites, compte tenu de leurs configurations de sol et de leurs niveaux de séisme SND, représentent l'enveloppe des situations envisageables pour les bâtiments d'entreposage des assemblages combustibles (BK) des réacteurs de 900 MWe. En parallèle de ces études, EDF a établi, pour chaque BK, des recueils de spectres de plancher¹ au SND pour vérifier le comportement des équipements qui y sont implantés.

Par ailleurs, à l'issue de la réunion du groupe d'experts pour les réacteurs nucléaires consacrée à l'examen du noyau dur et des exigences qui lui sont associées, EDF a réalisé des études pour vérifier la résistance structurelle

¹ Les spectres de plancher, aussi appelés spectres transférés, représentent le mouvement sismique « vu » par un équipement à travers la réponse de la structure. Pour un bâtiment donné, ces « spectres de plancher » sont définis niveau par niveau en tant qu'enveloppe des mouvements sismiques transférés en plusieurs points représentatifs des zones d'ancrage envisagées pour divers équipements.

des liners des piscines des BK des réacteurs de 900 MWe aux sollicitations résultant d'un SND. Ces études ont été menées sur les quatre mêmes sites que ceux retenus pour les études de résistance structurelle au SND.

Par la saisine citée en deuxième référence, l'ASN a demandé à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) d'examiner, pour les réacteurs de 900 MWe, la suffisance des éléments apportés par EDF concernant la résistance structurelle des piscines d'entreposage, des compartiments de manutention des assemblages combustibles et des liners des piscines aux agressions retenues pour le noyau dur ainsi que la capacité à assurer leur fonction prévue dans la démonstration de la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement. En particulier, l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur :

- l'évaluation de la résistance structurelle des éléments de génie civil concernés ;
- l'approche retenue par EDF de généralisation à l'ensemble des BK des réacteurs de 900 MWe des conclusions des études de vérification des sites considérés comme enveloppes des situations envisageables ;
- l'évaluation de la résistance structurelle du liner des piscines d'entreposage ;
- l'évaluation des spectres sismiques transférés pour la vérification du comportement des EIP² situés dans les bâtiments d'entreposage des assemblages combustibles.

Les BK des réacteurs du site de Chinon, pour lesquels les études ne sont pas finalisées, ont été exclus de cette analyse. Il en va de même pour les spectres sismiques transférés des réacteurs du site de Cruas. Ces études feront l'objet d'une instruction dédiée.

Dans un premier temps, l'IRSN donne son avis sur la résistance structurelle des BK des réacteurs de 900 MWe au SND en analysant successivement la suffisance de l'approche générale de justification suivie par EDF, son application au cas particulier des BK des réacteurs du site du Tricastin et le cas spécifique de la toiture des BK des réacteurs du site de Gravelines. Dans un second temps, l'IRSN se prononce sur la cohérence globale des études réalisées en parallèle des études de résistance structurelle sur les BK au SND, mais qui en dépendent. Dans un troisième temps, l'IRSN donne son avis sur la suffisance des études visant à évaluer la résistance structurelle des liners des piscines d'entreposage des BK des réacteurs de 900 MWe au SND. Enfin, la suffisance de l'approche générale d'évaluation des spectres de plancher des BK des réacteurs de 900 MWe au SND est analysée.

2. SUFFISANCE DES ÉLÉMENTS APPORTÉS PAR EDF CONCERNANT L'ÉVALUATION DE LA RÉSISTANCE STRUCTURELLE DES BK DES RÉACTEURS DE 900 MWE AU SND

2.1. JUSTIFICATION GÉNÉRALE

Pour évaluer la résistance structurelle des BK des réacteurs de 900 MWe au SND, EDF doit justifier la stabilité d'ensemble des BK au SND en vérifiant l'absence de rupture d'élément structurel principal et la résistance de la fondation. Sur les huit sites équipés de réacteurs de 900 MWe, seuls quatre ont fait l'objet d'une analyse spécifique, à savoir les sites du Bugey, du Tricastin, de Gravelines et de Chinon. Pour EDF, ces sites, par leurs configurations de sol et leurs niveaux SND, représentent l'enveloppe des situations envisageables. En outre, aucune étude de résistance structurelle n'est nécessaire pour le site de Cruas pour lequel, pour les directions horizontales qui influencent le comportement sismique de l'ouvrage, le spectre de dimensionnement couvre le spectre SND sur les fréquences d'intérêt de l'ouvrage. Sur la base des résultats issus soit d'analyses linéaires (cas

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.

des BK des sites du Bugey, de Gravelines et du Tricastin), soit d'analyses non-linéaires mettant en évidence des niveaux de déformation irréversible faibles et acceptables (résultats préliminaires pour les BK du site de Chinon), EDF justifie la résistance structurelle au SND des BK de ces quatre sites et donc de l'ensemble des réacteurs de 900 MWe.

Pour l'IRSN, compte tenu des spécificités des sites sur lesquels sont implantés des réacteurs de 900 MWe, la démonstration de la résistance structurelle au SND des BK des sites exemptés d'étude, à savoir les sites du Blayais, de Dampierre et de Saint-Laurent-des-Eaux, n'est pas assurée. Ces spécificités concernent notamment la géométrie du radier ou la conception de la toiture, le sol de fondation (caractéristiques et géométrie), le ferrailage en infrastructure du bâtiment, ainsi que le niveau de sollicitation sismique considéré en sous-face du bâtiment qui dépend directement du sol de fondation. Chacune de ces spécificités pouvant avoir une influence particulière sur la résistance structurelle du bâtiment, la conclusion d'une étude réalisée pour un site ne peut pas être transposée à un autre site sans être accompagnée d'une analyse quantitative prenant en compte l'ensemble des spécificités de ce site. **Par conséquent, pour l'IRSN, il est nécessaire d'étudier tous les BK des réacteurs de 900 MWe. Si un site est dédouané, il conviendra de montrer que ce site peut être couvert par un autre site sur chacune de ses spécificités.**

À la fin de l'expertise, EDF s'est engagé à réaliser des études complémentaires relatives à la démonstration de la résistance structurelle au SND des BK des sites du Blayais, de Dampierre ainsi que de Saint-Laurent-des-Eaux. Ces études complémentaires, dites « site spécifique » seront réalisées dans des échéances compatibles avec la réponse attendue à la prescription technique AGR-F (PT AGR-F³) présentée en annexe 2. Elles consisteront notamment à comparer les accélérations des modes propres principaux ainsi que les torseurs en base du bâtiment évalués à l'issue d'une analyse modale spectrale par rapport à ceux évalués sur un des BK des sites de Gravelines et du Tricastin selon une approche identique. **Pour l'IRSN, cet engagement n'est pas totalement satisfaisant. En effet, la justification par comparaison envisagée par EDF n'est acceptable que si le ferrailage et la conception des ouvrages comparés sont identiques. Dans le cas contraire, une analyse plus fine doit être réalisée pour conclure sur la résistance structurelle des BK du site étudié. Ce point fait l'objet de la Recommandation N° 1 présentée en annexe 1.**

2.2. APPLICATION AU CAS PARTICULIER DES BK DES RÉACTEURS DU SITE DU TRICASTIN ET À LA TOITURE DES BK DES RÉACTEURS DU SITE DE GRAVELINES

Pour justifier la résistance structurelle des BK des réacteurs de 900 MWe, EDF a appliqué, pour les sites étudiés, la démarche générale définie dans son guide méthodologique rédigé en réponse à la prescription PT ECS-ND9 [1] présentée en annexe 2. L'IRSN a analysé la suffisance de l'application de cette démarche pour le cas particulier des BK du site du Tricastin, ainsi que la spécificité des toitures des BK du site de Gravelines. Cette analyse est généralisable aux autres BK des réacteurs de 900 MWe.

Les études visant à justifier la résistance structurelle des BK des réacteurs du site du Tricastin au SND s'appuient sur un modèle tridimensionnel aux éléments finis qui considère une fissuration pré-supposée des matériaux⁴. **Pour l'IRSN, les hypothèses prises en compte pour les matériaux sont de nature à sous-estimer les efforts à reprendre par la structure et à représenter un état d'endommagement des éléments structurels dont la compatibilité avec l'exigence de supportage d'équipements doit être démontrée. Cet état d'endommagement doit par ailleurs être majoré lorsqu'EDF fait appel à des redistributions d'efforts entre éléments et à des**

³ Prescription technique de l'ASN concernant les risques liés au séisme fixée dans la décision en référence [3] et applicable aux réacteurs nucléaires de 900 MWe au vu des conclusions de la phase générique de leur quatrième réexamen périodique.

⁴ Le module d'Young dynamique du béton des planchers, des poutres et des poteaux est divisé par deux par rapport à celui considéré pour les voiles, et l'amortissement réduit des matériaux est fixé à 10 %.

coefficients de ductilité⁵ locale pour justifier la résistance locale de ces éléments. Ces points font l'objet des demandes N° 1 et N° 5 de la lettre de l'ASN citée en référence [4] émise à l'issue de l'expertise par l'IRSN de la réponse d'EDF à la PT ECS-ND 9, rappelées en annexe 2.

S'agissant du modèle élaboré à partir des plans d'exécution, l'IRSN considère que l'état réel du BK et notamment les modifications et aménagements effectués dans l'ouvrage depuis sa construction doivent être pris en compte dans les études. Bien qu'EDF ait mis en place un processus de suivi des modifications, ce processus ne lui permet pas d'évaluer l'incidence du cumul des modifications sur le comportement local des éléments structuraux des BK sous SND. L'IRSN relève qu'il n'existe pas, à ce jour, de dossier visant à justifier l'état réel des BK des réacteurs de 900 MWe, état à prendre en compte dans les études. **Ce point fait l'objet de la Recommandation N° 2 présentée en annexe 1.**

Les caractéristiques du sol à l'aplomb du bâtiment, dégradées par le niveau extrême du signal sismique (ND), de même que le signal sismique considéré dans les études sont évalués par une déconvolution⁶ du signal en champ libre établi suivant la règle fondamentale de sûreté n° 2001-01 (RFS 2001-01)⁷. Cette approche n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN pour le calcul de l'interaction sol structure du modèle qui tient compte des caractéristiques dégradées du sol et du fait que le bâtiment est partiellement enterré. Néanmoins, vis-à-vis de la déconvolution du signal sismique, **l'IRSN considère qu'EDF n'a pas apporté, en cohérence avec les préconisations du guide ASN 2/01⁸, la démonstration que les hypothèses et les méthodes simplifiées retenues ne conduisent pas à une sous-évaluation du mouvement sismique au niveau de la fondation des BK, que ce soit pour les études de résistance structurelle des BK ou celles visant à évaluer leurs spectres de plancher.** EDF s'est donc engagé, dans le cadre des réponses à apporter à la PT AGR-F, à justifier l'impact, sur les résultats des études de résistance structurelle des BK au SND, de la prise en compte d'une méthode à l'état de l'art pour la déconvolution du signal sismique. Cet engagement est satisfaisant dans le principe. Néanmoins, l'IRSN estime nécessaire que les éléments apportés par EDF explicitent la mise en œuvre de cette méthode et justifient les hypothèses retenues au regard des incertitudes mises en avant par l'IRSN au cours de l'expertise. 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 BK d'un site. **Ces points font l'objet de la Recommandation N° 3 présentée en annexe 1.**

Pour évaluer la résistance structurelle des BK du site du Tricastin, EDF réalise tout d'abord une analyse modale spectrale. À l'issue de cette étape, EDF justifie l'absence de rupture des éléments structuraux principaux des BK en faisant appel, sur la base d'une analyse de la suffisance des dispositions constructives du bâtiment, à la ductilité locale des zones les plus sollicitées. Cette conclusion ne concerne pas la toiture qui n'a pas de rôle structurel pour les BK des réacteurs de 900 MWe (hors Gravelines). Pour ces BK, EDF justifie la résistance des toitures et leur stabilité au SND en s'appuyant sur celle des acrotères⁹. Pour l'IRSN, les dispositions constructives des acrotères ne sont pas compatibles avec les hypothèses retenues par EDF dans sa démonstration. **À ce stade, la démonstration de la résistance et de la stabilité de la toiture des BK des réacteurs de 900 MWe (hors Gravelines) au SND n'est pas acquise, tout comme l'absence d'agression, sous SND, des EIP implantés sous la**

⁵ La ductilité désigne la capacité d'un matériau à se déformer plastiquement avant sa rupture. Il est ainsi possible d'avoir recours à des coefficients de ductilité locaux limités sous réserve de la présence de dispositions constructives autorisant une incursion modérée dans le domaine plastique et du caractère ductile des assemblages.

⁶ Principe mathématique permettant d'évaluer l'intensité d'un signal, défini en surface, à une profondeur donnée.

⁷ Règle Fondamentale de Sûreté de l'ASN visant à déterminer le risque sismique pour la sûreté des installations nucléaires de base de surface.

⁸ Guide de l'ASN portant sur la prise en compte du risque sismique à la conception des installations nucléaires de base.

⁹ Éléments structurels secondaires ancrés en tête des voiles périphériques.

toiture (ponts, piscines, ...). À la fin de l'expertise, EDF s'est engagé à transmettre de nouveaux éléments de démonstration qui devraient permettre de conclure sur le besoin ou non d'effectuer des renforcements.

Les toitures des BK des réacteurs du site de Gravelines, compte tenu de leur conception spécifique, ont un rôle structurel pour les BK. EDF justifie leur résistance structurelle au SND sur la base des résultats issus de l'analyse modale spectrale. Néanmoins, pour l'IRSN, cette conclusion, qui ne s'applique qu'à la dalle en béton armé de la toiture, doit être étayée eu égard aux hypothèses simplificatrices de modélisation retenues. Par ailleurs, EDF ne justifie pas la résistance structurelle et la stabilité des autres éléments constitutifs de cette toiture. **Ainsi, l'IRSN considère qu'EDF doit compléter sa démonstration concernant la résistance structurelle et la stabilité des toitures des BK du site de Gravelines. Ce point fait l'objet de la Recommandation N° 4 présentée en annexe 1.**

Par ailleurs, concernant la stabilité des fondations du BK au SND, EDF justifie la résistance structurelle des radiers des BK du site du Tricastin sur la base d'une analyse spécifique tenant compte de non-linéarités tant au niveau du sol que du matériau béton armé. Cependant, EDF n'a pas justifié que les lois de comportement retenues sont adaptées et valides pour le cas considéré. Plus généralement, **pour l'IRSN, en cas de mise en œuvre dans une étude d'une loi de comportement non-linéaire pour les matériaux, il est nécessaire de justifier sa pertinence en s'appuyant sur son domaine de validité. Ce point fait l'objet de la Recommandation N° 5 présentée en annexe 1.**

En conclusion, pour conforter la démonstration de la résistance structurelle au SND des BK du site du Tricastin, et plus généralement de l'ensemble des BK des réacteurs de 900 MWe, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF apporte des justifications complémentaires concernant les méthodologies mises en œuvre vis-à-vis de la modélisation de l'ouvrage et de la réduction du signal sismique avec la profondeur.

3. COHÉRENCE DES ÉTUDES POUR L'ENSEMBLE DES SSC

Le comportement global du BK et de ses équipements au SND est évalué sur la base d'études réalisées indépendamment les unes des autres, en parallèle, avec des hypothèses distinctes afin, selon EDF, de rester conservatif sur les grandeurs d'intérêt propres à chaque étude. L'IRSN souligne l'importance des résultats des études de résistance structurelle qui peuvent remettre en cause les conclusions des autres études telles que celles relatives à la résistance structurelle des liners (voir § 4), à l'évaluation de la stabilité des fondations, de la capacité portante du sol, des déplacements différentiels entre bâtiments, ainsi que des spectres de plancher nécessaires pour vérifier le comportement des équipements (voir § 5). Par conséquent, la démonstration de la résistance structurelle des BK est un préalable à toutes les autres études et un rebouclage final justifiant la cohérence des différentes études est nécessaire. **EDF s'est engagé à présenter la cohérence globale de ses études sur le cas particulier des BK des réacteurs du site de Chinon, et ce dans le cadre de la réponse à la PT AGR-F. Pour l'IRSN, ces éléments concernent l'ensemble des réacteurs de 900 MWe. Ce point fait l'objet de la Recommandation N° 6 présentée en annexe 1.**

4. SUFFISANCE DES ÉLÉMENTS APPORTÉS PAR EDF CONCERNANT L'ÉVALUATION DE LA RÉSISTANCE STRUCTURELLE DES LINERS DES PISCINES DES BK DES RÉACTEURS DE 900 MWE AU SND

Pour justifier la résistance structurelle des liners des piscines des BK des réacteurs de 900 MWe, la démarche d'EDF consiste à vérifier, en plus de la résistance des soudures entre les tôles qui composent le liner, que les déformations induites dans le liner par les sollicitations sismiques et thermiques ainsi que les efforts dans les ancrages restent admissibles.

Comme pour la résistance structurelle des BK des réacteurs de 900 MWe au SND, les sites retenus par EDF pour les études de justification de la résistance structurelle des liners sont les sites du Bugey, du Tricastin, de

Gravelines et de Chinon. Les modèles de calculs considérés dans les études de résistance structurelle du génie civil et dans les études de résistance structurelle des liners sont distincts. Pour les études de résistance structurelle des liners, EDF a considéré des lois de comportement non linéaires pour le béton et les armatures des éléments structuraux de sorte à majorer les déplacements des voiles en béton qui assurent le supportage des liners des piscines des BK et à solliciter ainsi davantage les tôles et les ancrages.

EDF montre que les déformations dans le liner ne dépassent pas les critères retenus et conclut à la non-déchirure du liner à l'issue d'un scénario de séisme de niveau noyau dur, suivi d'une perte de refroidissement de la piscine, et ce pour l'ensemble des piscines des BK des réacteurs de 900 MWe.

La méthodologie présentée par EDF pour analyser le comportement du liner et démontrer sa robustesse n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN, sous réserve de la justification de la cohérence des études (voir § 3).

Concernant les critères retenus pour la vérification des soudures du liner, l'IRSN considère qu'ils sont acceptables. À contrario, l'IRSN considère que le critère utilisé pour les déformations dans les zones courantes n'est pas pertinent. Toutefois, l'IRSN estime que la prise en compte d'un critère plus adapté ne serait pas de nature à remettre en cause les conclusions d'EDF.

Enfin, en réponse aux remarques de l'IRSN concernant la variabilité de la capacité résistante des ancrages mise en évidence lors de différentes campagnes d'essais, EDF s'est engagé à déterminer son impact sur les résultats des études de déformation du liner. **Ceci est satisfaisant.**

5. SUFFISANCE DES ÉLÉMENTS APPORTÉS PAR EDF CONCERNANT L'ÉVALUATION DES SPECTRES DE PLANCHER DES BK DES RÉACTEURS DE 900 MWE AU SND

Le comportement au SND des équipements ND présents dans les BK des réacteurs de 900 MWe est étudié séparément du comportement de l'ouvrage sur la base d'un transfert du spectre de sol vers l'étage où se trouve l'équipement ; les spectres calculés à chaque niveau du bâtiment sont les spectres de plancher.

Les études visant à établir les spectres de plancher des BK des réacteurs de 900 MWe sont réalisées de manière indépendante des études de résistance structurelle sur la base d'hypothèses distinctes et selon des approches différentes en fonction des sites.

Les différentes approches retenues par EDF soulèvent des remarques de la part de l'IRSN qui remettent en cause la validité des spectres de plancher des réacteurs de 900 MWe. Il s'agit notamment :

- de l'inadéquation des modèles filaires de type brochette¹⁰ pour établir les spectres de plancher au SND pour les BK des sites de Dampierre et de Saint-Laurent-des-Eaux ; cette pratique est en écart par rapport aux préconisations du guide ASN 2/01 ;
- de la sous-évaluation des spectres à moyenne et à haute fréquence induite par la déconvolution du signal sismique pouvant conduire à un sous-dimensionnement des équipements dont le comportement est plus sensible sur cet intervalle de fréquence que ne l'est la résistance structurelle du BK ;
- de l'absence de prise en compte de l'état d'endommagement des éléments structuraux assurant le supportage des SSC dans le calcul des spectres (voiles et planchers).

¹⁰ Dans un modèle filaire de type brochette, un bâtiment est représenté par une ou plusieurs poutres équivalentes en flexion. Les planchers et les voiles sont représentés par leur masse condensée à différents niveaux des poutres. Les modèles filaires de type brochette ne permettent d'appréhender ni les phénomènes de torsion du bâtiment ni les amplifications des mouvements des voiles et des planchers liées à leur souplesse.

De manière générale, l'IRSN considère qu'EDF ne justifie pas suffisamment le conservatisme de l'approche retenue pour l'établissement des spectres de plancher, notamment par rapport aux résultats des études de résistance structurelle des BK dont ils dépendent, ce qui n'est pas satisfaisant.

Vis-à-vis du premier point susmentionné, EDF s'engage à réévaluer les spectres de plancher au SND des sites de Dampierre et de Saint-Laurent-des-Eaux, en cohérence avec les échéances de la PT AGR-F, **ce qui est satisfaisant.**

Pour ce qui concerne les autres points, EDF s'est engagé à transmettre un dossier justifiant la pertinence des spectres de plancher évalués indépendamment des résultats des études de résistance structurelle des BK des réacteurs de 900 MWe. Par ailleurs, EDF présentera dans ce dossier « *le conservatisme de l'approche linéaire équivalente et la compatibilité entre l'état d'endommagement et le supportage des équipements* ». **Ces éléments répondent, sur le principe, aux attentes de l'IRSN. Néanmoins, l'IRSN s'attachera à vérifier la cohérence du niveau d'endommagement des éléments structuraux du BK pris en compte dans la détermination des spectres de plancher et dans la vérification du supportage des équipements par rapport à celui résultant des études de résistance structurelle, ce qui renvoie à la nécessaire cohérence des études (voir § 3).**

6. CONCLUSION

Dans le cadre des études post Fukushima, l'ASN a prescrit à EDF l'étude de la résistance structurelle des piscines d'entreposage et des compartiments de manutention des assemblages combustibles aux agressions externes retenues pour le noyau dur, ainsi que la description des éventuelles modifications nécessaires pour garantir leur résistance.

Dans ce cadre, EDF a transmis un dossier visant à justifier la résistance structurelle du génie civil et des liners des piscines des BK des réacteurs de 900 MWe au SND sans qu'il soit nécessaire d'effectuer des renforcements, ainsi que des recueils de spectres de plancher pour la vérification du comportement des équipements ND implantés dans les BK.

Pour l'IRSN, les justifications présentées par EDF ne sont pas suffisantes en l'état et plusieurs aspects méthodologiques nécessitent des compléments ou des approfondissements pour conforter les conclusions d'EDF. Cela concerne :

- la généralisation des études de résistance structurelle réalisées sur quelques BK à l'ensemble des BK ;
- la pertinence des modélisations retenues par rapport à l'état réel des ouvrages ;
- la déconvolution du signal sismique ;
- la résistance structurelle au SND des toitures ;
- la pertinence des lois de comportement non-linéaires retenues dans les études ;
- la justification de la cohérence globale des études.

Ces différents points ont amené EDF à s'engager à réaliser un certain nombre d'actions complémentaires et l'IRSN à formuler les recommandations présentées en annexe 1. Les réponses à ces engagements et la prise en compte de ces recommandations sont nécessaires afin de pouvoir statuer sur la résistance globale des SSC des BK des réacteurs de 900 MWe au SND.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2022-00163 DU 26 JUILLET 2022

Recommandations de l'IRSN

Recommandation N° 1

Pour les études à venir visant à justifier, sur la base d'une analyse modale spectrale, la résistance structurelle au SND des BK des sites du Blayais, de Dampierre et de Saint-Laurent-des-Eaux, l'IRSN recommande que, dans le cas où le ferrailage et la conception de l'ouvrage étudié sont différents de ceux des BK du site de Gravelines ou du Tricastin, EDF s'assure de la suffisance de ce ferrailage, les données relatives aux accélérations des modes propres principaux ainsi qu'aux torseurs en base du bâtiment n'étant pas suffisantes pour pouvoir conclure.

Recommandation N° 2

En complément des plans « Bon Pour Exécution » de construction, l'IRSN recommande qu'EDF constitue un référentiel de définition de l'état des ouvrages en conformité avec leur état réel en synthétisant les analyses d'impact effectuées lors des constats d'écart et des aménagements réalisés avec pour objectif de justifier les données d'entrée retenues dans les études. En cas d'écart entre ce référentiel et les données d'entrée des études déjà réalisées, l'impact sur les conclusions des études devra être analysé.

Recommandation N° 3

L'IRSN recommande qu'EDF conforte l'évaluation du comportement au séisme des SSC des BK des réacteurs de 900 MWe requis en cas de SND en justifiant, conformément au guide ASN 2/01, la pertinence des choix de modélisation et la suffisance des études de sensibilité réalisées sur les paramètres d'influence pour tenir compte de l'enfoncement partiel des BK dans le sol. Cette justification devra :

- s'appuyer sur une définition robuste du mouvement sismique à l'affleurement au droit des BK qui tienne compte de la variabilité du sol à l'échelle du site et des incertitudes liées à la modélisation de ses caractéristiques dynamiques ;
- prendre en compte le sol remanié au-dessus du niveau de fondation et la présence des bâtiments voisins de l'îlot nucléaire.

Recommandation N° 4

L'IRSN recommande qu'EDF complète sa démonstration de la résistance structurelle et de la stabilité au SND des toitures des BK des réacteurs du site de Gravelines. Cette démonstration devra prendre en compte l'ensemble des spécificités de conception de l'ossature métallique et de la dalle en béton armé constitutives de la toiture, ainsi que son environnement (en particulier, les voiles en béton armé coulés en deuxième phase).

Recommandation N° 5

L'IRSN recommande qu'EDF caractérise le domaine de validité des lois de comportement non-linéaires mises en œuvre dans ses études et justifie, sur la base des dossiers de qualification et de validation des modèles de comportement considérés, que leur application dans les études de résistance structurelle des radiers ou d'évaluation des déplacements imposés aux liners des BK des réacteurs de 900 MWe est conforme à ce domaine de validité

Recommandation N° 6

L'IRSN recommande qu'EDF documente la démonstration de la cohérence globale des résultats des différentes études justificatives réalisées pour chaque BK des réacteurs de 900 MWe à l'égard d'un séisme de niveau noyau dur. Il s'agit notamment des études visant à évaluer la capacité portante du sol, la résistance structurelle du génie civil, la résistance structurelle des liners, les spectres transférés à chaque niveau du bâtiment, ainsi que les déplacements différentiels du bâtiment par rapport aux bâtiments voisins. En particulier, EDF devra montrer que les résultats issus des études de résistance structurelle ne mettent pas en cause la validité des spectres de plancher.

ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2022-00163 DU 26 JUILLET 2022

Rappel des prescriptions et des demandes de l'Autorité de sûreté nucléaire

Rappel de la prescription technique ECS-ND7 de la décision N° 2014-DC-0412 du 21 janvier 2014 [1]

L'aléa sismique, à prendre en compte pour les SSC du noyau dur, défini par un spectre de réponse, doit :

- être enveloppe du séisme majoré de sécurité (SMS) de site, majoré de 50% ;
- être enveloppe des spectres de site définis de manière probabiliste avec une période de retour de 20 000 ans ;
- prendre en compte pour sa définition, les effets de site particuliers et notamment la nature des sols.

Pour les SSC nouveaux du noyau dur, l'exploitant retient un spectre majoré par rapport au spectre de réponse défini ci-dessus.

Rappel de la prescription technique ECS-ND9 de la décision N° 2014-DC-0412 du 21 janvier 2014 [1]

Pour la conception des SSC nouveaux du noyau dur, l'exploitant utilise des règles de conception et de construction codifiées ou, à défaut, conformes à l'état de l'art. Il démontre l'intégrité et la fonctionnalité de ces SSC au regard de la situation traitée.

Les SSC nouveaux du noyau dur non substituables par d'autres moyens font l'objet d'exigences de conception et de fabrication renforcées pour leur assurer un haut niveau de fiabilité pour remplir leurs fonctions de sûreté pour toutes les phases d'un accident, tant qu'ils sont nécessaires.

Pour les SSC existants dont la justification en situations noyau dur ne pourrait être acquise sur la base des règles de conception et de construction codifiées ou, à défaut, conformes à l'état de l'art, il justifie ces SSC sur la base de méthodes déterministes réalistes ; il utilise en tout état de cause des critères garantissant la fonctionnalité des SSC vis-à-vis des missions qu'ils ont à accomplir en situations noyau dur. Dans les cas où la justification sur la base de ces méthodes n'est pas acquise, l'exploitant étudie le remplacement ou le renforcement de ces SSC.

Rappel de la prescription technique ECS-ND14 de la décision N° 2014-DC-0412 du 21 janvier 2014 [1]

Avant le 31 décembre 2015, l'exploitant transmet à l'ASN l'étude de la résistance structurelle des piscines d'entreposage et des compartiments de manutention des assemblages combustibles aux agressions externes retenues pour le noyau dur.

Il transmet, dans les mêmes délais, la description des éventuelles modifications nécessaires pour garantir leur résistance.

Rappel de la prescription technique AGR-F de la décision N° 2021-DC-0706 du 23 février 2021 [3]

Risques liés au séisme [AGR-F]

- I. L'exploitant identifie les systèmes, structures et composants nécessitant des renforcements pour assurer la tenue du noyau dur à l'aléa sismique qu'il a défini en application de la prescription [ECS-ND7] de l'annexe aux décisions du 21 janvier 2014 susvisées.
- II. L'exploitant met en œuvre les modifications permettant les renforcements des systèmes, structures et composants identifiés au I.
- III. Pour les réacteurs des centrales nucléaires du Blayais, du Bugey, de Chinon, de Cruas et du Tricastin, l'exploitant étudie les possibilités de renforcement permettant de faire face à des niveaux d'aléa sismique

plus élevés que ceux mentionnés au I pour tenir compte des incertitudes sur la détermination de l'aléa extrême et les éventuels effets de site particuliers. Il définit les éventuelles modifications à mettre en œuvre au regard des enjeux pour la sûreté et le calendrier associé.

Rappel de la demande N° 1 de la lettre CODEP-DCN-2021-024717 du 27 août 2021 [4]

L'ASN vous demande de réaliser :

- une évaluation du comportement, en cas de SND, de structures représentatives des structures de génie civil qui sont des SSC du noyau dur, selon des méthodes utilisées lors des réexamens périodiques des installations et d'établir un état des écarts qui pourraient faire l'objet de renforcements simples. Cette évaluation doit s'appuyer sur les valeurs des caractéristiques conventionnelles des matériaux de construction mentionnées dans le guide 2/01 de l'ASN ;
- une évaluation du comportement, en cas de SND, de ces mêmes structures suivant des méthodes non linéaires respectant les dispositions du guide 2/01 de l'ASN ;
- une analyse comparative visant à justifier le caractère conservatif des résultats de la méthode linéaire équivalente du guide méthodologique [d'EDF] en regard des méthodes utilisées lors des réexamens périodiques des installations et des méthodes non linéaires recommandées par le guide 2/01 ;
- une étude de sensibilité du paramètre d'amortissement de la structure dans l'application de la méthode linéaire équivalente du guide méthodologique [d'EDF].

Rappel de la demande N° 5 de la lettre CODEP-DCN-2021-024717 du 27 août 2021 [4]

L'ASN vous demande de justifier le caractère enveloppe de la réduction par un coefficient égal à deux du module de Young du béton (module de raideur) des planchers, des poteaux et des poutres pour l'évaluation du comportement des structures de génie civil et des équipements du noyau dur pour démontrer le respect de leurs exigences de comportement et de fonctionnalité.