

Monsieur le Directeur de la direction des centrales nucléaires

Fontenay-aux-Roses, le 28 janvier 2026

AVIS D'EXPERTISE N° 2026-00009 DU 28 JANVIER 2026

Objet : Demande d'autorisation de création de deux réacteurs de type EPR2 sur le site de Penly
– Expertise de la conception du génie civil

Références : [1] Lettre ASNR – CODEP-DCN-2025-005335 du 3 avril 2025
[2] Avis d'expertise de l'ASNR n° 2026-00004 du 20 janvier 2026
[3] Avis de l'ASN n° 2019-AV-0329 du 16 juillet 2019
[4] Avis de l'ASN n° 2019-AV-0331 du 23 juillet 2019

En 2023, EDF a déposé une demande d'autorisation de création (DAC) pour une paire de réacteurs EPR2 sur le site de Penly et a transmis la version préliminaire du rapport de sûreté (RPrS) associée. Dans ce contexte, par la saisine citée en référence [1], la Direction des centrales nucléaires de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) a demandé l'avis de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR sur le dossier de conception des ouvrages des réacteurs EPR2 prévus sur le site de Penly.

La Direction de l'expertise en sûreté a ainsi examiné la conception et la démarche de dimensionnement des ouvrages de génie civil, notamment la définition des exigences de comportement qui leur sont associées et qui découlent des exigences de sûreté, ainsi que la démarche de prise en compte du séisme de référence et du séisme extrême dans la conception des ouvrages.

Sur la base des éléments disponibles au stade de la DAC, la conception de l'enceinte de confinement du bâtiment du réacteur et de son liner¹, ainsi que la stratégie de contrôle par ultrasons des soudures du liner et les critères d'acceptabilité associés à ces contrôles, ont également été examinés.

Une attention particulière a été portée aux éléments qui ont évolué par rapport au réacteur EPR de Flamanville (EPR FA3) ainsi qu'à la prise en compte du retour d'expérience des constructions et des études de conception des ouvrages passés.

De l'évaluation du dossier initialement transmis, tenant compte des éléments apportés par EDF au cours de l'expertise et des engagements pris à l'issue de celle-ci, la Direction de l'expertise en sûreté retient les principaux éléments suivants.

¹ Liner : peau d'étanchéité métallique.

1. DOSSIER DE CONCEPTION DES OUVRAGES

Aux différentes étapes de la conception des ouvrages de génie civil des INB² sont associées des démonstrations adaptées. Au stade de la DAC, il est ainsi attendu une démonstration du respect des exigences de sûreté attribuées aux ouvrages de génie civil à l'égard des chargements les plus significatifs dans le but de figer les principales dimensions des ouvrages et valider ainsi leur conception générale. Pour le séisme, ce principe général a été rappelé dans les préconisations de l'annexe 4 du guide ASN 2/01³ qui précise que, pour chaque ouvrage de génie civil : « *En soutien d'un Rapport Préliminaire de Sûreté, l'exploitant transmet à l'Autorité de Sûreté Nucléaire une note de synthèse présentant des dossiers de conception et d'études d'avant-projet disponibles. Cette note a pour objet de justifier que les choix de conception et la démarche de dimensionnement retenus dans le domaine concerné par le présent guide permettent de garantir que l'ouvrage à construire sera en mesure de satisfaire les exigences retenues à l'égard de la sûreté* ».

Pour l'enceinte de confinement, le dossier transmis répond dans l'ensemble à ces attentes pour les zones courantes. Néanmoins, le dossier initial, complété par les éléments transmis en cours d'expertise, n'a pas permis à la Direction de l'expertise en sûreté de conclure sur la suffisance de certaines dispositions de conception retenues, notamment au niveau des zones singulières de l'enceinte telles que le tampon d'accès des matériels.

Pour les autres ouvrages EIP⁴, l'ensemble des notes d'hypothèses et de dimensionnement n'étant à ce stade pas disponible, l'analyse de la déclinaison des exigences de sûreté attribuées à ces ouvrages n'a pas pu être effectuée. Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté considère que le dossier transmis par EDF ne permet pas de complètement statuer sur la suffisance des solutions de conception, des dispositions constructives et des méthodes de dimensionnement des ouvrages de génie civil retenues par le projet EPR2.

En fin d'expertise, EDF a transmis un échéancier de disponibilité des notes d'hypothèses et de conception des principaux bâtiments classés S1⁵ et de la salle des machines. La Direction de l'expertise en sûreté relève que ces notes porteront sur la méthodologie mais ne comporteront pas la justification de la démonstration du respect des exigences attribuées aux ouvrages de génie civil, ni les spectres sismiques transférés au niveau des zones de supportage des équipements principaux. Elles ne permettront donc pas de répondre au besoin de justification de la suffisance des choix de conception retenus et de démonstration du respect des exigences de comportement attribuées aux ouvrages.

Ainsi, en cohérence avec les préconisations du guide ASN 2/01, la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF complète la justification de la suffisance de la conception des ouvrages de génie civil, y compris de l'enceinte de confinement, et des spectres transférés au regard des exigences attribuées aux structures et équipements. Cette justification devra être apportée en amont de l'irréversibilité industrielle de la conception et du dimensionnement de ces ouvrages (cf. la recommandation n° 1 en annexe du présent avis d'expertise).

2. DÉMARCHE DE CONCEPTION DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL

La conception d'ensemble des ouvrages de génie civil des réacteurs EPR2 est proche de celle du réacteur EPR FA3 au niveau de l'installation générale, tout en présentant des évolutions significatives telles que l'abandon de la coque avion et l'épaississement de la paroi de l'enceinte de confinement du bâtiment du réacteur, l'adjonction de bâtiments nouveaux tels que les bâtiments abritant la source froide diversifiée ou le groupe électrogène d'ultime secours, ainsi que des dispositions de conception générale des bâtiments visant à améliorer la régularité de leur

² INB : installation nucléaire de base.

³ Guide ASN 2/01 : guide relatif à la « Prise en compte du risque sismique à la conception des ouvrages de génie civil d'installations nucléaires de base à l'exception des stockages à long terme des déchets radioactifs ».

⁴ EIP : élément important pour la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement.

⁵ Classement S1 : classement dédié aux bâtiments ou structures abritant ou supportant des EIP requis dans les situations de dimensionnement et contribuant à la protection des EIP contre les agressions externes ou internes, ou assurant une fonction de sûreté de confinement, ou accomplissant des fonctions de catégorie 1.

géométrie et leur robustesse à l'égard du séisme. Il est à noter qu'EDF prévoit de répliquer la plupart des ouvrages de génie civil sur les sites susceptibles d'accueillir des réacteurs EPR2.

La démarche de conception des ouvrages de génie civil s'appuie sur la définition de fonctions de sûreté auxquelles participent ces ouvrages. Les exigences définies de sûreté attribuées aux ouvrages et le classement de sûreté qui en découle conduisent à la définition d'exigences de comportement et à l'utilisation de codes de conception dédiés tels que le RCC-CW⁶ ou les Eurocodes⁷. Au stade de la DAC, les éléments transmis restent généraux et leur déclinaison pour apporter la démonstration du respect des exigences, pour les chargements les plus dimensionnants résultant des situations accidentelles et des agressions externes de référence et extrêmes⁸, est partielle. **À l'issue de l'expertise, EDF s'est engagé à mettre à jour certaines parties du RPrS et à mettre en cohérence le référentiel de conception dans le but d'améliorer la définition et la déclinaison des exigences attribuées aux ouvrages de génie civil des réacteurs EPR2, ce qui est satisfaisant.**

Dans le cadre de la présente expertise, ont été plus spécifiquement examinés la conception de l'enceinte de confinement et de son liner, des parois en béton armé munies ou non de revêtement devant assurer une exigence d'étanchéité à l'eau, des éléments de structures internes du bâtiment du réacteur, ainsi que la déclinaison des exigences de sûreté pour le cas particulier du séisme qui est le chargement globalement prédominant pour la conception des ouvrages de génie civil des réacteurs EPR2.

2.1. CONCEPTION DE L'ENCEINTE ET DU LINER

L'enceinte de confinement du bâtiment du réacteur est la troisième barrière interposée entre les radioéléments provenant du combustible et l'environnement. Les principales fonctions de sûreté assurées par l'enceinte sont le confinement et la protection contre les agressions externes.

L'enceinte EPR2 diffère notablement de celle de l'EPR FA3 : la double enceinte avec liner est remplacée par une enceinte à simple paroi plus épaisse en béton précontraint avec un liner. **Le système de précontrainte a été optimisé, et la géométrie de parties d'ouvrage telles que le gousset faisant la transition entre l'enceinte et le radier a été revue pour une meilleure constructibilité, ce que la Direction de l'expertise en sûreté juge positif.** Par ailleurs, sur l'EPR2, la pression de dimensionnement de l'enceinte a été réduite de 20 % environ par rapport à celle de l'EPR FA3. Enfin, alors que, pour l'enceinte de l'EPR FA3, le contrôle des soudures du liner en fin de fabrication s'est appuyé sur un contrôle non destructif volumique par radiographie sur la base d'un taux de sondage de 10%, avec extension en cas de détection d'indication, EDF envisage, pour l'EPR2, de contrôler 100% des soudures du liner à l'aide d'une combinaison de méthodes de contrôle volumique par ultrasons.

2.1.1. Conception du génie civil de l'enceinte et du dispositif d'auscultation

EDF présente la conception du génie civil de l'enceinte de confinement des réacteurs EPR2. Toutes les situations envisageables⁹ pour le réacteur sont traitées dans ce dossier. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le dossier d'EDF décrit de façon claire et conforme à l'état de l'art la démarche de conception de l'enceinte, en particulier celle de son système de précontrainte, ce qui est satisfaisant.**

Les principaux chargements considérés pour le dimensionnement de l'enceinte sont d'une part ceux du domaine de dimensionnement de référence et ceux induits par les accidents graves, d'autre part le séisme de dimensionnement et le séisme extrême. Pour chaque situation, EDF affecte tout d'abord à l'enceinte des exigences de comportement telles qu'un comportement élastique de la paroi, une limitation de la fissuration du béton ou l'intégrité du liner. Puis, les exigences de comportement sont déclinées en critères de dimensionnement, exprimés en termes de limitation de contrainte ou de déformation dans les différents matériaux de l'enceinte. En s'appuyant sur ces critères et sur la base de calculs simplifiés réalisés pour la paroi en zones courantes, EDF

⁶ RCC-CW : Règles de conception et de réalisation pour le génie civil des centrales nucléaires REP, version 2018.

⁷ Eurocodes : ensemble de normes européennes de dimensionnement et de justification des structures de bâtiment et de génie civil, dont la rédaction est confiée au Comité européen de normalisation (CEN), relativement à l'exigence essentielle de stabilité et de résistance mécanique.

⁸ Agressions externes extrêmes : agressions naturelles de plus forte intensité que celles considérées dans le domaine de conception de référence, résultant des enseignements tirés de l'accident de Fukushima Dai-ichi et des évaluations complémentaires de sûreté.

⁹ À l'exception de la chute d'avion qui fait l'objet d'un dossier et d'une expertise dédiée.

retient un dimensionnement du système de précontrainte. La Direction de l'expertise en sûreté considère que la démarche d'EDF est conforme aux référentiels applicables, mais souligne qu'EDF obtient de faibles valeurs de compressions résiduelles dans certaines zones, en partie haute du fût et dans le dôme, dans le cas des chargements les plus sollicitants. En l'état actuel du dossier, la Direction de l'expertise en sûreté considère que le dimensionnement est réalisé sans marge significative.

Dans son dossier, EDF présente également les hypothèses et la méthodologie d'une étude de niveau « Detailed Design » en cours de réalisation, qui couvre les zones singulières, fondée sur une modélisation aux éléments finis de l'enceinte. La Direction de l'expertise en sûreté estime que seuls les résultats de cette étude permettront d'apporter la justification de la robustesse du dimensionnement de l'enceinte. **La Direction de l'expertise en sûreté souligne l'importance de disposer dans les meilleurs délais des résultats de cette étude. Ce point est repris dans la recommandation n° 1 présentée supra.**

Par ailleurs, la valeur de la pression de dimensionnement de l'enceinte est essentiellement déterminée par les chargements associés aux situations d'accident grave, en considérant le fonctionnement du système EVU qui permet l'évacuation ultime de la chaleur de l'enceinte dans ces situations. Dans son avis en référence [2], la Direction de l'expertise en sûreté a indiqué que les éléments transmis à ce stade par EDF ne permettent pas de justifier la suffisance des dispositions de résilience qu'il propose de mettre en œuvre pour faire face à une défaillance des deux trains du système EVU. Pour rappel, le réacteur EPR2 ne dispose pas d'un dispositif d'éventage et de filtration de l'enceinte qui permettrait en situation d'accident grave de limiter sa montée en pression. **Eu égard au caractère restreint des marges de dimensionnement de l'enceinte de confinement, la Direction de l'expertise en sûreté souligne l'importance de justifier le caractère suffisant des dispositions de résilience retenues en situations d'accident grave en amont de l'irréversibilité de la conception de l'enceinte de confinement.**

En outre, EDF présente une évaluation de la robustesse sismique de l'enceinte, qui conclut favorablement. **La Direction de l'expertise en sûreté estime satisfaisante cette évaluation.**

Enfin, EDF présente le dispositif d'auscultation de l'enceinte des réacteurs EPR2 de Penly, qui permettra notamment le suivi en continu du comportement mécanique de l'enceinte. Ce dispositif est dans la continuité de ceux mis en œuvre sur les réacteurs du parc en exploitation, y compris l'EPR FA3. **La Direction de l'expertise en sûreté considère que la conception du système d'auscultation de l'enceinte EPR2 est satisfaisante et qu'il conviendra qu'EDF planifie la réalisation d'un premier relevé complet des mesures par ce dispositif avant le début de la mise en tension des câbles de précontrainte.**

2.1.2. Contrôle des soudures du liner

Pour justifier d'un taux de fuite négligeable de l'enceinte de confinement du bâtiment du réacteur conçue avec une simple paroi et un liner d'étanchéité, EDF s'est engagé à réaliser un contrôle volumique de la totalité des soudures du liner. La solution de contrôle non destructif volumique par ultrasons retenue, pour la détection des défauts enfouis dans l'épaisseur de ces soudures, combine le procédé TOFD¹⁰ et le procédé PAUT¹¹.

La démarche de contrôle proposée par EDF vise à garantir que seuls des défauts ne présentant aucune nocivité peuvent subsister dans les soudures à l'issue des opérations de fabrication. **Cette démarche n'appelle pas de commentaire particulier de la part de la Direction de l'expertise en sûreté** dès lors que le moyen de contrôle retenu conduit à déclarer inacceptables tous les défauts dits nocifs. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, cette démarche nécessite une quantification des incertitudes associées à la caractérisation des défauts par les deux procédés qui seront mis en œuvre.

¹⁰ TOFD : Le procédé de contrôle par ultrasons TOFD (Time of Flight Diffraction) repose sur la mesure du temps de vol des ondes diffractées par les extrémités d'un défaut (fond et sommet). Deux sondes sont placées de part et d'autre de la zone à inspecter : l'une émet une onde ultrasonore, l'autre la reçoit. L'analyse du signal et/ou de l'image permet de localiser et de dimensionner précisément les défauts internes, indépendamment de leur orientation.

¹¹ PAUT : Le procédé de contrôle par ultrasons PAUT (Phased Array Ultrasonic Testing) repose sur l'utilisation d'une sonde à éléments multiples dont l'excitation est commandée électroniquement par des lois de retard. L'ajustement de ces dernières permet de balayer, orienter et focaliser le faisceau ultrasonore dans le matériau.

Définition des défauts cibles

Pour déterminer les dimensions des défauts ne présentant pas de nocivité, EDF s'appuie sur une méthode fondée sur la mécanique de la rupture qui consiste à déterminer la taille maximale des défauts admissibles (défaut dit cible). Un défaut pouvant subsister à l'issue du contrôle non destructif devra donc avoir une taille nécessairement inférieure à celle du défaut cible. Cette méthode consiste en l'analyse d'éprouvettes comportant des joints soudés avec défauts, soumises aux déformations limites prescrites par le code RCC-CW. **Pour la Direction de l'expertise en sûreté, la méthode retenue par EDF pour déterminer les défauts cibles est satisfaisante.**

Les coefficients de sécurité issus du code RCC-M¹² sont utilisés par EDF pour analyser le risque de rupture brutale, ce qui contribue au conservatisme de l'approche, l'utilisation de tels coefficients n'étant pas prévue initialement pour les liners. Ce conservatisme est confirmé par les essais qui montrent des ruptures survenant bien au-delà des déformations limites du code RCC-CW. **Ainsi, la Direction de l'expertise en sûreté estime que l'approche adoptée par EDF et son application sont satisfaisantes.**

Définition des critères d'acceptation

Pour définir les critères d'acceptation¹³ de la solution de contrôle combinant les procédés TOFD et PAUT, EDF a réalisé une analyse comparative entre les dimensions des défauts cibles et les critères issus des normes relatives aux procédés concernés.

Les critères d'acceptation TOFD reposent sur l'évaluation de la hauteur et de la longueur de l'indication. Les critères proposés par EDF conservent les hauteurs maximales admissibles prévues par la norme (NF EN ISO 15626) qui s'applique au procédé TOFD, pour le niveau d'acceptation 1¹⁴, mais retiennent des valeurs plus faibles pour la longueur afin de tenir compte des longueurs maximales des défauts non nocifs et de l'incertitude de mesure. **Ces dispositions sont satisfaisantes.**

Concernant les contrôles PAUT, EDF proposait initialement d'appliquer les critères d'acceptation liés à l'amplitude et à la longueur des indications du niveau d'acceptation 2 de la norme (NF EN ISO 19285) qui s'applique au procédé PAUT. Or, ces critères ne permettaient pas d'assurer le rejet systématique des défauts dont la longueur est supérieure à celle du défaut cible. À l'issue de l'expertise, EDF s'est engagé à compléter les critères d'acceptation applicables aux contrôles PAUT de manière à limiter la longueur des indications acceptables, **ce qui est satisfaisant.**

Démonstration des performances de la solution combinant les procédés TOFD et PAUT

Afin de démontrer les performances de son procédé de contrôle par ultrasons, EDF a effectué des essais sur des maquettes dans lesquelles ont été implantés des défauts de hauteur et d'inclinaison variées. **À partir des résultats présentés, la Direction de l'expertise en sûreté considère que les performances de détection de la solution combinant les procédés TOFD et PAUT développée par EDF sont globalement satisfaisantes.**

L'analyse des conditions d'essais a toutefois mis en évidence l'absence de certaines configurations de défauts, et l'analyse des résultats, la nécessité de reprendre certains essais. EDF s'est engagé à apporter des éléments complémentaires au travers de la réalisation d'essais expérimentaux sur de nouvelles maquettes et de simulations numériques. **Ces engagements sont satisfaisants.**

La Direction de l'expertise en sûreté a également constaté que le nombre de résultats utilisés pour déterminer l'incertitude relative à la mesure de la longueur des indications avec le procédé TOFD était faible. Par ailleurs, les incertitudes relatives à la mesure de la hauteur des indications avec le procédé TOFD et à la mesure de la longueur des indications avec le procédé PAUT n'ont pas été quantifiées. EDF s'est engagé à évaluer, à partir d'un nombre d'essais suffisant, ces incertitudes. EDF s'est également engagé à vérifier que l'application des critères d'acceptation, après prise en compte des incertitudes, permet de rejeter les défauts cibles contenus dans les

¹² RCC-M : Règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires REP.

¹³ Critère d'acceptation : seuil portant sur des caractéristiques mesurables d'une indication telles que l'amplitude, la hauteur ou la longueur, et qui permet de décider si une indication est acceptable ou si elle doit être rejetée.

¹⁴ Les niveaux d'acceptation sont numérotés de 1 à 3, le niveau 1 étant le plus sévère.

maquettes. En fonction des résultats obtenus, les critères d'acceptation pourront être rendus plus stricts. **Ces éléments sont satisfaisants.**

2.2. CONCEPTION DES PAROIS DE STRUCTURES AYANT UNE EXIGENCE D'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU

Certaines parois des ouvrages doivent assurer une étanchéité à l'eau, pour assurer la protection des EIP situés dans des locaux en cas d'inondation interne ou externe, ou pour protéger les eaux souterraines à l'égard du risque de dissémination de substances radioactives. Pour garantir le respect de ces exigences, en fonction du caractère pérenne ou exceptionnel de la présence d'eau et du risque associé, des dispositions constructives sont adoptées en complément de la capacité des parois en béton armé à assurer une étanchéité. Selon le cas, la maîtrise des déformations du béton armé peut se révéler nécessaire pour assurer l'étanchéité des revêtements ou celle du béton armé. À ce stade du projet, les bâtiments identifiés dans le RPrS pour lesquels cette exigence d'étanchéité à l'eau doit s'appliquer sont principalement le bâtiment du réacteur, le bâtiment abritant la source froide diversifiée, le bâtiment du combustible et le bâtiment de traitement des effluents. L'enceinte de confinement du bâtiment du réacteur munie d'un liner est traitée de manière spécifique (voir supra). D'autres bâtiments ou parties de bâtiments pourraient également être concernés.

Les éléments mis à disposition de la Direction de l'expertise en sûreté ne lui ont pas permis de s'assurer que le dimensionnement prévu pour les ouvrages concernés permettait de garantir le maintien de l'étanchéité. Ainsi, **la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF définitse, en cohérence avec les propriétés des revêtements d'étanchéité, les critères de limitation des déformations des éléments de structure de génie civil permettant d'assurer le respect de l'exigence d'étanchéité à l'eau ou de supportage du revêtement attribuée aux parois externes des bâtiments assurant la protection des eaux souterraines et aux parois internes des bâtiments constituant des zones de rétention, pour l'ensemble des situations de dimensionnement (cf. la recommandation n° 2 en annexe du présent avis d'expertise).**

2.3. CONCEPTION DES STRUCTURES INTERNES DU BÂTIMENT DU RÉACTEUR AU REGARD DES CHARGEMENTS ACCIDENTELS

À ce stade du projet, le RPrS et les éléments présentés par EDF au cours de l'expertise n'ont pas permis d'examiner dans le détail le dimensionnement des différents éléments de structures des locaux des structures internes du bâtiment du réacteur pour l'ensemble des chargements auxquels ils sont soumis. Certaines de ces structures portent des exigences spécifiques, par exemple le maintien de l'étanchéité du liner du radier à la suite de la rupture de la cuve en situation d'accident grave. À ce stade, la démonstration de la capacité de ces structures à assurer les fonctions qui leur sont assignées n'est pas disponible. En particulier, les critères à adopter et les dispositions constructives ne sont pas présentés. Le dimensionnement qui en découle et la suffisance des choix constructifs restent à apporter. EDF a pris à cet égard l'engagement de transmettre « *avant le premier béton nucléaire* » les études des éléments de génie civil des structures internes. Ces études présenteront les fonctions de sûreté à assurer et les exigences de comportement à adopter au regard de l'ensemble des chargements accidentels à considérer. **Cet engagement d'EDF est satisfaisant dans le principe. Il conviendrait toutefois que ces éléments soient disponibles en amont de l'irréversibilité industrielle de la conception et du dimensionnement des structures internes du bâtiment du réacteur.**

2.4. MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES À L'ÉGARD DU SÉISME

2.4.1. Niveaux sismiques retenus pour le dimensionnement des ouvrages

Le séisme constitue globalement le chargement le plus sollicitant pour les ouvrages de génie civil ; par ses effets il concerne l'ensemble d'un site. La RFS 2001-01¹⁵ et le guide ASN 2/01 constituent le référentiel de sûreté de

¹⁵ RFS 2001-01 : règle fondamentale de sûreté relative à la « Détermination du risque sismique pour la sûreté des installations nucléaires de base de surface ».

conception et de dimensionnement, complété par EDF par le code RCC-CW. Les mouvements sismiques sont définis en surface en application de la RFS 2001-01. Pour le séisme de référence, EDF a défini dans le RPrS un séisme de dimensionnement (SDD) de site enveloppe du SMS¹⁶ pour les ouvrages de site, et un SDD générique enveloppe du SMS pour les ouvrages dits standards c'est-à-dire ceux qui sont répliqués sur les sites de Penly, Gravelines et Bugey. En complément, EDF retient un séisme extrême enveloppe du SMS majoré de 50% et des spectres de site définis de manière probabiliste avec une période de retour de 20 000 ans. Le séisme extrême est pris en compte, pour la première fois, au stade de la conception d'un nouveau réacteur.

Pour le site de Penly, EDF retient des SDD de site et générique qui dépassent le niveau de séisme extrême du site, ce qui est satisfaisant.

2.4.2. Méthode générale de dimensionnement au séisme de référence

EDF prévoit d'étudier le comportement des bâtiments standards et de site, et de déterminer les spectres transférés dans ces bâtiments, en retenant, en fonction des bâtiments et des équipements, des hypothèses de sol ou des spectres de sol différents.

Pour la Direction de l'expertise en sûreté, le caractère enveloppe des hypothèses retenues n'est pas acquis ; en particulier, pour les spectres transférés aux équipements standards, l'hypothèse retenue de sol homogène et d'amortissement associé peut conduire à une sous-évaluation des sollicitations sismiques par rapport à une modélisation intégrant la stratigraphie réelle du site. EDF a indiqué qu'il réalisera la vérification du caractère enveloppe des hypothèses qu'il a retenues avant la demande de mise en service (DMES) de Penly, **ce qui est satisfaisant**.

2.4.3. Méthode de dimensionnement au séisme extrême

Le RPrS présente les ouvrages requis en cas de séisme extrême. La Direction de l'expertise en sûreté relève que les ouvrages qui, par leur effondrement à la suite d'un séisme extrême, pourraient remettre en cause la démonstration de sûreté, ne font pas l'objet d'une exigence de « non-agression » au sens du guide ASN 2/01. EDF a prévu de compléter les exigences attribuées aux différents ouvrages en amont de la DMES, ce qui est satisfaisant.

Dans le RPrS, EDF indique que les ouvrages qui ont un requis au séisme extrême sont dimensionnés au SDD, et que la vérification de leur comportement à l'égard du séisme extrême sera présentée dans le rapport de sûreté associé à la DMES. La Direction de l'expertise en sûreté considère que cette démarche ne garantit pas l'obtention d'une conception aussi robuste que celle obtenue par un dimensionnement. Ceci rejoint les positions exprimées par l'ASN dans les avis [3] et [4] qui ont porté respectivement sur les dossiers d'options de sûreté de l'EPR NM et de la piscine d'entreposage centralisé de combustibles usés. En fin d'expertise, **EDF s'est engagé à ce que les ouvrages ayant une exigence de tenue au séisme extrême soient conçus et dimensionnés** pour assurer leur fonction de sûreté dans cette situation en utilisant les méthodes de dimensionnement retenues pour le séisme de référence, et que la justification pourra valoriser certains conservatisme et s'appuyer sur des hypothèses et critères moins enveloppes que ceux retenus pour le séisme de référence. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, **ceci est satisfaisant**.

Il convient de noter que, pour le site de Penly, compte tenu du fait que le spectre de sol du séisme extrême est couvert par le SDD, le dimensionnement des ouvrages au séisme extrême est acquis.

2.4.4. Spectres transférés

Pour l'établissement des spectres transférés retenus pour le dimensionnement des équipements, EDF prévoit notamment de prendre en compte les possibles amplifications des mouvements sismiques dues au comportement local des structures de génie civil assurant le supportage des équipements, prenant ainsi en compte le retour d'expérience relatif à la démarche d'établissement des spectres transférés déployée lors du dimensionnement du

¹⁶ SMS : Le séisme maximal historiquement vraisemblable (SMHV) correspond au séisme le plus pénalisant susceptible de se produire sur une durée d'environ 1000 ans, évalué sur la base des séismes historiquement connus. Le séisme majoré de sécurité (SMS) est défini en ajoutant conventionnellement 0,5 à la magnitude du SMHV ; il est retenu pour le dimensionnement aux séismes des installations nucléaires.

réacteur EPR FA3. Le RPrS du site de Penly sera mis à jour à l'échéance de la transmission du dossier de la DAC pour enquête publique. **Ces éléments sont satisfaisants dans le principe.**

En tout état de cause, la maîtrise des mouvements sismiques transférés aux équipements devra être établie en amont de l'irréversibilité industrielle de la conception et du dimensionnement ou de la qualification des équipements. Ce point est inclus dans la recommandation n° 1 présentée supra.

2.4.5. Méthode de prise en compte du risque d'agression par des ouvrages voisins

En cas de séisme, la démonstration du respect des exigences de sûreté attribuées à un ouvrage nécessite la justification de la maîtrise des déplacements entre ouvrages. Ainsi, une exigence de non-interaction ou de non-agression est attribuée aux ouvrages voisins.

À cet égard, EDF a présenté une démarche consistant à justifier l'existence d'un éloignement suffisant des ouvrages ou l'acceptabilité de l'effondrement d'un ouvrage voisin. Cette démarche est acceptable dans son principe. Toutefois, la Direction de l'expertise en sûreté considère que la justification des critères permettant de justifier la suffisance de l'éloignement nécessite d'être complétée, de même que la justification du chargement appliqué au sol en cas d'effondrement d'un ouvrage. EDF s'est engagé à apporter des éléments complémentaires à échéance du 30 avril 2026.

2.4.6. Cas particulier d'une agression par la salle des machines

La salle des machines étant située à proximité de la station de pompage de sûreté, du bâtiment abritant la source froide diversifiée et du bâtiment abritant le groupe électrogène d'ultime secours, la Direction de l'expertise en sûreté estime que l'absence d'effondrement de la salle des machines doit être assurée en cas de séisme.

EDF a précisé lors de l'expertise les méthodes utilisées pour justifier le respect de l'exigence de stabilité d'ensemble d'une part en cas de séisme de référence, d'autre part en cas de séisme extrême.

Pour ce qui concerne le séisme de référence, EDF a retenu, pour étudier le comportement de la salle des machines, la méthode dite de l'**« analyse modale-spectrale »**, **ce qui est satisfaisant**.

Pour ce qui concerne le séisme extrême, EDF propose de retenir la méthode non linéaire équivalente, conformément aux possibilités admises par le guide ASN 2/01. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que cette méthode n'est pas à privilégier, car elle ne conduit pas à un dimensionnement suffisamment robuste au regard des enjeux de sûreté associés à l'effondrement de la salle des machines.**

Pour le site de Penly, le dimensionnement de la salle des machines au SDD de site couvre de fait celui qui résulterait de la prise en compte du séisme extrême.

3. VALORISATION DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

Au titre de la valorisation du REX de la construction et de l'exploitation des réacteurs en France et à l'étranger, et en réponse aux demandes de la Direction de l'expertise en sûreté, EDF a présenté les dispositions de conception retenues pour le réacteur EPR2 en s'appuyant sur les meilleures techniques disponibles. La Direction de l'expertise en sûreté souligne l'importance de l'intégration, dans les phases ultérieures du projet, des dispositions constructives issues du REX retenues afin de permettre aux ouvrages d'accomplir les fonctions de sûreté qui leur sont assignées pendant la durée d'exploitation des réacteurs EPR2.

Pour ce qui concerne la durabilité de la protection des structures enterrées assurée par des membranes d'étanchéité¹⁷, EDF prescrit la mise en œuvre d'un compartimentage, qui permet à la fois de confiner et de localiser les entrées d'eau, ainsi qu'une surveillance renforcée de la mise en œuvre des membranes d'étanchéité lors de la construction. **Ces dispositions sont satisfaisantes.**

¹⁷ Membrane d'étanchéité : ce dispositif vise à protéger les éléments enterrés en contact avec l'humidité de la terre, l'eau de drainage ou la nappe phréatique.

S'agissant des membranes et des lames d'étanchéité¹⁸ prescellées (Waterstop) qui, par conception, sont difficilement voire non remplaçables, EDF estime que la démonstration, par la qualification, de l'obtention des performances attendues, le respect des règles de mise en œuvre et la surveillance renforcée lors de la mise en œuvre assurent un bon niveau de fiabilité et de durabilité. La Direction de l'expertise en sûreté considère que leur non-remplaçabilité doit conduire EDF à s'interroger dès la construction sur les meilleures techniques disponibles pour assurer leur surveillance et leur réparabilité pour la durée d'exploitation des réacteurs EPR2.

Pour ce qui concerne le comportement de la zone singulière de l'accès des matériels dans l'enceinte de confinement, EDF indique que la prise en compte du REX conduit à modifier sa conception pour limiter les déformations en conditions d'accident grave. La Direction de l'expertise en sûreté considère qu'il s'agit d'un enjeu important.

Pour ce qui concerne les consoles de supportage du pont polaire, EDF présente douze points d'amélioration de leur conception tenant compte du REX de la conception des consoles mise en œuvre sur les réacteurs du palier CPY, le réacteur EPR FA3 et les réacteurs EPR à l'international. **Ceci est satisfaisant.**

Enfin, pour ce qui concerne la prise en compte du retrait du béton des ouvrages de grandes dimensions en lien avec le phasage de construction, EDF indique que le phasage de construction est pris en compte dans la conception selon les codes et normes en vigueur et que le REX des chantiers ITER et RJH a bien été considéré pour les réacteurs EPR2, aussi bien dans la conception que dans la construction, ce qui n'appelle pas de remarque.

4. CONCLUSION

À l'issue de son examen, la Direction de l'expertise en sûreté estime que le dossier transmis par EDF au stade de la DAC, complété par les éléments fournis en cours d'expertise, ne permet pas de conclure à la suffisance de la conception et de la démarche de dimensionnement des ouvrages de génie civil retenues par le projet EPR2 pour la construction d'une paire de réacteurs sur le site de Penly. Moyennant la prise en compte des recommandations figurant en annexe au présent avis et la réalisation des engagements pris par EDF au cours de la présente expertise, la Direction de l'expertise en sûreté considère que la conception des ouvrages de génie civil des réacteurs EPR2 de Penly devrait permettre de répondre aux exigences qui leur sont assignées.

Pour ce qui concerne le séisme extrême, qui est pris en compte pour la première fois au stade de la conception d'un nouveau réacteur, EDF a indiqué qu'il retient pour les ouvrages de génie civil une démarche de type dimensionnement, ce qui est satisfaisant dans le principe. Pour le site de Penly, compte tenu du fait que le niveau de séisme extrême du site est couvert par les SDD générique et de site, le dimensionnement des ouvrages de génie civil au séisme extrême est de fait acquis.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté

¹⁸ Lames d'étanchéité prescellées : ces dispositifs, constitués de bandes d'élastomère, permettent d'assurer l'étanchéité entre deux bâtiments ou galeries contigus à l'égard des eaux souterraines et des eaux de pluie.

ANNEXE

Recommandations de la Direction de l'expertise en sûreté

Recommandation n° 1

En cohérence avec les préconisations du guide ASN 2/01, la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF complète la justification de la suffisance de la conception des ouvrages de génie civil, y compris de l'enceinte de confinement, et des spectres transférés au regard des exigences attribuées aux structures et équipements. Cette justification devra être apportée en amont de l'irréversibilité industrielle de la conception et du dimensionnement de ces ouvrages.

Recommandation n° 2

La Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF définisse, en cohérence avec les propriétés des revêtements d'étanchéité, les critères de limitation des déformations des éléments de structure de génie civil permettant d'assurer le respect de l'exigence d'étanchéité à l'eau ou de supportage du revêtement attribuée aux parois externes des bâtiments assurant la protection des eaux souterraines et aux parois internes des bâtiments constituant des zones de rétention, pour l'ensemble des situations de dimensionnement.