ASNR Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Monsieur le Directeur de la Direction des centrales nucléaires

Fontenay-aux-Roses, le 8 juillet 2025

AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00075 DU 8 JUILLET 2025

Objet : **EDF – Projet EPR2 – Tuyauteries classées de sûreté en polyéthylène haute densité (PEHD) – Évaluation des règles de conception et de construction de la partie amenée SEC1-2 des EPR2 de Penly.**

Référence : Saisine ASN/DCN - CODEP-DCN-2024-058131 du 23 octobre 2024.

Dans un réacteur électronucléaire à eau sous pression, le système SEC[1] permet d'assurer le refroidissement du système RRI[2]. Pour les sites en bord de mer, le retour d'expérience du parc en exploitation a mis en évidence que les tuyauteries de ce système étaient sensibles à des mécanismes de dégradation et nécessitaient des travaux de réfection après 30 ans d'exploitation environ.

Aussi, dans le cadre du projet EPR2 des sites de Penly, puis de Gravelines, EDF envisage l'utilisation d'un nouveau matériau pour certaines parties du système SEC : le polyéthylène haute densité (PEHD). Ce polymère semi-cristallin a été retenu par EDF pour sa résistance à la corrosion avec un objectif de durée de vie de 80 ans.

Le code de construction RCC-M[3] usuellement utilisé étant applicable uniquement aux matériels métalliques, EDF a défini des règles de conception et de réalisation spécifiques pour l'utilisation de ce matériau. Il s'agit donc du référentiel de conception, d'approvisionnement, de construction et de contrôle des tuyauteries SEC en PEHD classées de sûreté des EPR2. Par commodité, il sera appelé « référentiel » dans la suite.

Par la saisine citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur le référentiel d'EDF, en particulier pour la partie amenée SEC1-2, classée de sûreté S1[4], des EPR2 de Penly.

Au 1er janvier 2025, l'ASN et l'IRSN sont devenus l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR). Le présent avis de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR vient en réponse à la saisine précitée.

De l'évaluation des documents transmis par EDF, tenant compte des informations apportées au cours de son expertise et de ses propres analyses, la Direction de l'expertise en sûreté retient les éléments suivants.

---

1 Système d'eau brute secourue.

2 Système de réfrigération intermédiaire.

3 Règles de Conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaire des réacteurs à eau sous pression.

4 Sur le projet EPR2, les équipements importants pour la sûreté (EIPS) sont classés en 3 niveaux : S1, S2, S3, le niveau S1 correspond au classement de sûreté le plus élevé.

Adresse du siège social : 15 rue Louis Lejeune - 92120 Montrouge
Adresse postale : BP 17 - 92262 Fontenay-aux-Roses cedex
Tél. : +33 (0)1 58 35 88 88 - Courriel : asnr-courrier@asnr.fr

1. RÉFÉRENTIEL DE CONCEPTION ET DE CONSTRUCTION

Les règles de conception et de construction des systèmes en PEHD des EPR2 sont constituées d'un nombre important de documents, dont le contenu a évolué au cours de l'expertise. Par ailleurs, certaines exigences sont uniquement intégrées à des pièces contractuelles et ne sont pas facilement accessibles.

Pour la Direction de l'expertise en sûreté, le référentiel doit être autoportant, stabilisé et facilement applicable. De plus, la Direction de l'expertise en sûreté précise que ce référentiel devra être transmis au futur exploitant afin de lui permettre son appropriation technique en vue des futures activités de maintenance.

À l'issue de l'expertise, EDF s'est engagé à formaliser ce référentiel dans un document intégrant les exigences de conception, de construction, de contrôles et les principes de suivi en exploitation des tuyauteries SEC en PEHD classées de sûreté pour le projet EPR2 à l'échéance de décembre 2025, **ce qui est satisfaisant (*cf.* Engagement n° 1 rappelé en Annexe 2 au présent avis d'expertise).**

2. ESTIMATION DE LA DURÉE DE VIE

S'ils sont réputés présenter une bonne résistance à la corrosion, les matériaux de type PEHD peuvent être sensibles à d'autres mécanismes de dégradation impactant la durée de vie des tuyauteries.

Concernant le vieillissement par oxydation, EDF a lancé un programme d'essais afin d'évaluer les effets de ce mécanisme à long terme. Les résultats de ce programme seront disponibles au second semestre 2028, après le début planifié de la construction de l'amenée SEC1-2 des EPR2 de Penly. Ces essais permettront notamment d'évaluer l'impact de la présence de chlore dans l'eau brute[5] sur l'oxydation du PEHD**.**

S'agissant du phénomène de fissuration lente[6], la Direction de l'expertise en sûreté relève que celui-ci est considéré par de nombreux groupes de travail, dont ceux de l'ASME[7], comme le mécanisme déterminant eu égard à la durée de vie des tuyauteries en PEHD. Elle note également que les soudures sont plus sensibles à ce phénomène que les parties courantes de tubes et doivent donc faire l'objet d'une attention particulière. La présence de défaut est un facteur favorisant le mécanisme de fissuration lente. Aussi, pour vérifier l'adéquation des critères d'acceptation des défauts dans le matériau de base et dans les soudures pour une durée de 50 ans, EDF a eu recours aux règles alternatives[8] des codes ASME III et ASME XI. EDF s'est également engagé à mener des travaux pour démontrer le bon comportement du matériau pour une durée de vie de 80 ans. Le programme de ces travaux sera présenté à l'ASNR au premier semestre 2026 **(*cf.* Engagement n° 2 rappelé en Annexe 2 au présent avis d'expertise). Ces éléments sont satisfaisants sur le principe.**

3. TYPE DE POSE

EDF envisage d'enterrer les tuyauteries du SEC des EPR2 de Penly et de Gravelines. Les techniques de construction envisagées pour le programme EPR2 sont la pose en tranchée et la pose en forage dirigé horizontal[9]. Pour les EPR2 de Penly, seule la pose en tranchée est retenue. Le recours à des tuyauteries enterrées est un changement très significatif par rapport aux réacteurs du parc en exploitation pour lesquels les tuyauteries SEC cheminent en galeries sur tous les sites en bord de mer. Ce choix entraîne des conséquences en termes de suivi en service et de remplaçabilité des tuyauteries.

Concernant le suivi en service, seules des inspections visuelles et des expertises de manchettes démontables, situées en intérieur de bâtiment, sont prévues. EDF considère que ces mesures, associées aux résultats des travaux mentionnés au § 2, sont suffisantes eu égard à l'objectif de durée de vie de 80 ans. EDF estime par ailleurs

---

5 Eau prélevée dans l'environnement, qui est traitée par adjonction de chlore.

6 La fissuration lente est un mécanisme d'endommagement qui consiste en la propagation de défaut (macro et micro) préexistant dans le matériau par fissuration au cours du temps et sous un faible niveau de contrainte. Cette fissuration peut conduire à la ruine des composants sur de longues périodes qui se comptent en années, voire en dizaines d'années.

7 American Society of Mechanical Engineers.

8 L'ASME code case N-891-1 pour les tuyauteries, de 2023, relatif au code de construction américain *ASME boiler pressure vessel code, section III : rules for construction of nuclear facility components*, et l'ASME code case N-947 pour les soudures, à paraître, relatif au code de construction américain : *ASME boiler pressure vessel code, section XI : rules for inservice inspection of nuclear reactor facility components.*

9 Le forage dirigé horizontal est une technique pour l'installation de tuyauteries qui permet d'éviter de creuser des tranchées. Cette technique est généralement utilisée lorsque l'encombrement de surface (exemple : une route) ne permet pas le creusement de tranchée ouverte.

que les techniques actuellement disponibles ne permettent pas le suivi en service à l'égard du phénomène de fissuration lente, que ce soit dans le matériau de base ou dans les soudures. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, les inspections visuelles ne permettant pas le suivi de ce mécanisme, et les manchettes démontables n'étant pas totalement représentatives de l'ensemble des tuyauteries, les dispositions retenues par EDF ne permettent pas de garantir l'absence ou la détection d'un endommagement pour une durée de 80 ans. De plus, d'autres industries ont développé des stratégies de suivi en service des tuyauteries souterraines.

En conséquence, la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF anticipe le suivi en service des tuyauteries SEC en PEHD classée de sûreté des EPR2, dès la conception, et propose une solution de suivi en service du mécanisme de fissuration lente (*cf.* Recommandation n° 1 rappelée en Annexe 1 au présent avis d'expertise).

4. CHARGEMENTS

EDF a établi la liste des chargements élémentaires à considérer à la conception. Certains d'entre eux ne doivent être pris en compte que si la profondeur d'enfouissement de la tuyauterie est inférieure à 1 m[10] (cas des projectiles dus à la tornade) ou « faible » (cas du gel notamment). Or, dans ces deux cas, aucune méthodologie de vérification et aucun critère de justification ne sont définis. La profondeur limite à partir de laquelle les effets du gel seraient à prendre en compte n'est également pas indiquée. **Pour les futurs projets EPR2, il appartiendra à EDF de préciser les vérifications à mener et les critères associés dans les deux cas mentionnés supra.**

EDF retient comme objectif de conception, pour les situations exceptionnelles et hautement improbables, un critère de niveau B selon le référentiel EPRI[11]. Dans le cas particulier des tronçons aériens en intérieur de bâtiment, EDF pourrait retenir, le cas échéant, un critère de niveau C. **La Direction de l'expertise en sûreté incite EDF à retenir, dans la mesure du possible, un critère de niveau B pour les tronçons aériens afin de conserver des marges dès la conception**.

La prise en compte de la liquéfaction[12] dans la vérification au séisme des tuyauteries en PEHD n'est pas décrite dans le guide de dimensionnement. **Aussi, il appartiendra à EDF de s'assurer que l'évaluation du risque de liquéfaction est réalisée en préalable à la construction des tuyauteries enterrées, quelle que soit la technique retenue (tranchée ou forage dirigé).**

5. DIMENSIONNEMENT

EDF a établi son dossier de justification de la tenue mécanique des assemblages boulonnés en PEHD sur la base de l'ASME III, des publications du PPI[13] et de résultats d'essais. Du fait de l'évolution des propriétés mécaniques du PEHD au cours du temps, l'effort de serrage tend à diminuer. EDF estime qu'au-delà de 100 000 heures (environ 11 ans), l'évolution de l'effort de serrage est négligeable. EDF a indiqué qu'il appliquera un effort de serrage majoré pour couvrir la diminution de cet effort jusqu'à 100 000 heures. **Pour la Direction de l'expertise en sûreté, les caractéristiques mécaniques du PEHD continuent à évoluer au-delà de 100 000 h, aussi l'étanchéité ne peut être pas garantie au-delà de cette durée.**

EDF a indiqué que des opérations de maintenance, conduisant au resserrage de ces assemblages, pourraient être réalisées sur ces assemblages boulonnés en PEHD, **sans pour autant préciser les périodicités de celles-ci.** EDF estime également que dans le cas hypothétique d'une perte d'étanchéité, l'évolution très lente des caractéristiques mécaniques du PEHD conduirait à l'apparition d'une fuite de type goutte-à-goutte sans impact sur la fonction de sûreté. EDF considère que la fuite serait rapidement détectée et que la remise en conformité de

---

10 Cela ne concerne pas les tuyauteries enterrées du SEC1-2 des EPR2 de Penly.

11 Selon l'EPRI (*Electric power research institute*), des critères de niveau A ou B indiquent que le réseau en PEHD doit résister aux chargements sans dommages nécessitant des réparations. Un critère de niveau C indique que les limites permettent des déformations importantes et des discontinuités structurelles, qui peuvent nécessiter le retrait du composant en service pour inspection et réparation. Le critère de niveau D indique que les limites permettent des déformations importantes et globales du réseau avec perte de stabilité dimensionnelle et dommages qui nécessitent des réparations, voire le retrait en service de certains composants.

12 Le phénomène de liquéfaction des sols concerne principalement des couches géologiques constituées de matériaux sableux saturés en eau et soumis à une sollicitation cyclique. Ces matériaux perdent une partie ou la totalité de leur résistance initiale au cisaillement et s'écoulent de manière semblable à un liquide.

13 *Plastic pipe institute* : l'institut des tubes en plastique. Association de producteurs de tubes en polymère dont l'objectif est la promotion de l'utilisation de ce type de produits.

l'assemblage pourrait donc être programmée dans des délais adaptés, sans impact sur la sûreté de l'installation, **ce qui, pour la Direction de l'expertise en sûreté, n'est pas satisfaisant pour une installation neuve. De ce fait, la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF justifie que le couple de serrage des assemblages boulonnés en PEHD permet l'étanchéité pour la période d'exploitation envisagée ou précise sa stratégie de contrôle et d'ajustement du couple de serrage en tenant compte d'une périodicité au plus égale à 100 000 heures d'exploitation (*cf.* Recommandation n° 2 rappelée en Annexe 1 au présent avis d'expertise).**

S'agissant des coudes usinés en PEHD des EPR2 de Penly, les principes de dimensionnement retenus par EDF sont définis sur la base de dispositions de conception éprouvées. **Ceci est satisfaisant.**

EDF a précisé que la conception des compensateurs[14] serait réalisée par des fabricants spécialisés, sur la base des données d'entrée fournies. EDF a pris l'engagement d'intégrer les exigences fonctionnelles des compensateurs dans son référentiel. **Ceci est satisfaisant.**

Pour le dimensionnement des tuyauteries, EDF utilise la même contrainte admissible pour les soudures et le matériau de base. De manière simplifiée, la contrainte admissible d'un matériau de type PEHD est définie à partir de sa résistance hydrostatique à long terme, multipliée par un coefficient dit de sécurité. Or le comportement à long terme d'une soudure en PEHD peut être différent de celui du matériau de base, comme évoqué au § 2 pour le mécanisme de fissuration lente. De plus, le désalignement des tuyauteries lors de leur soudage est un facteur de diminution de la résistance hydrostatique à long terme des soudures. Enfin, la Direction de l'expertise en sûreté constate que certaines normes européennes[15] recommandent d'appliquer un coefficient inférieur à 1 pour le dimensionnement des soudures.

Au regard des éléments qui précèdent, la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF justifie les valeurs de contraintes admissibles retenues à la conception pour les soudures en PEHD. Cette démonstration devra prendre en compte la présence de désalignement, dans les limites autorisées pour le projet EPR2 (*cf.* Recommandation n° 3 rappelée en Annexe 1 au présent avis d'expertise).

6. APPROVISIONNEMENT

EDF a choisi d'approvisionner des résines de type PE 100-RC, ce qui correspond aux produits en PEHD avec une résistance accrue au mécanisme de fissuration lente. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de la Direction de l'expertise en sûreté.**

Les exigences d'approvisionnement d'EDF ont été complétées durant l'expertise et sont satisfaisantes d'une manière générale, en particulier la fréquence des essais eu égard au phénomène de fissuration lente qui est désormais imposée sur chaque lot de résine. **Les exigences supplémentaires retenues devront être intégrées au référentiel.**

Les essais de vieillissement par oxydation évoqués au § 2 sont réalisés une seule fois et pour une seule résine. EDF précise que la résine utilisée est « *la résine enveloppe vis-à-vis du vieillissement chimique (thermo-oxydant)* » parmi les deux résines prévues pour les EPR2 de Penly. Le caractère enveloppe est déterminé à partir d'essais de caractérisation ne se limitant pas à l'essai d'OIT[16]. Ce dernier est le seul essai relatif aux caractéristiques d'oxydation réalisé lors de l'approvisionnement de chaque lot de résine et de produit fini. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, pour assurer la représentativité du programme d'essai de vieillissement par oxydation, les résines et les produits finis approvisionnés doivent présenter des résultats d'essais d'approvisionnement comparables à ceux de la résine enveloppe. Toutefois, la Direction de l'expertise en sûreté constate que le critère d'approvisionnement associé à l'essai d'OIT est dix fois inférieur à certains résultats d'essais de caractérisation obtenus par EDF sur des produits finis illustrés sur la Figure 1 ci-après :

---

[14] Accessoire qui a pour rôle d'absorber les variations de longueurs induites par les variations des températures dans les systèmes de tuyauterie. Il absorbe également les déformations dues aux vibrations et aux coups de bélier.

[15] La norme NF EN 1778 impose un facteur de soudage de 0,8 pour les soudures miroir en PEHD. Ce coefficient de 0,8 est cohérent avec le critère de la norme NF EN 12814-8 déterminé par les essais mécaniques réalisés selon la norme NF EN 12814-3.

[16] *Oxidative induction time* : temps d'induction à l'oxydation.

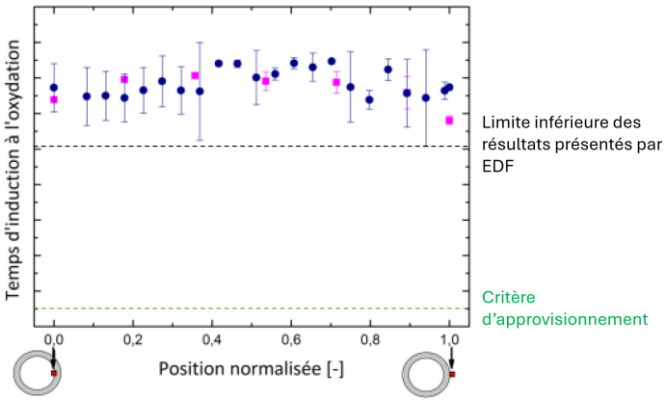

Figure 1. Résultats d'OIT présentés par EDF dans le cadre de la caractérisation de produits finis en PEHD

En conséquence, la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF définisse, en les justifiant, des critères d'essais d'OIT en lien avec les propriétés des résines et des produits finis caractérisés dans le cadre de ses essais de R&D en cours. Ces critères devront permettre d'identifier une variation acceptable par rapport à une valeur typique déclarée par le fabricant, afin d'être en mesure de détecter une dérive de fabrication (*cf.* Recommandation n° 4 rappelée en annexe 1 au présent avis d'expertise).

Pour une durée de vie de 80 ans, la détermination de la contrainte admissible du PEHD nécessite une extrapolation à partir d'une formule théorique, les données directement disponibles ne couvrant généralement qu'une période de 50 ans. EDF ne précise pas comment la validité de cette extrapolation est vérifiée lors de l'approvisionnement, cette vérification étant nécessaire pour s'assurer du respect des hypothèses prises en conception. EDF s'est engagé à transmettre à l'ASNR d'ici fin septembre 2025 une analyse de justification des contraintes admissibles, pour la température et la durée de vie envisagées des résines qui seront approvisionnées pour les EPR2 de Penly, **ce qui est satisfaisant sur le principe (*cf.* Engagement n° 3 rappelé en Annexe 2 au présent avis d'expertise). Il appartiendra à EDF de pérenniser la réalisation de cette vérification dans son référentiel.**

7. CONSTRUCTION

7.1. SOUDAGE

Une qualification de mode opératoire de soudage (QMOS) est un processus qui permet de garantir que le procédé d'assemblage des matériaux proposé pour la construction permet de réaliser des soudures ayant les propriétés mécaniques requises pour l'application envisagée. Cette garantie est apportée par la réalisation d'essais destructifs sur des soudures réalisées en amont du chantier. Dans le cadre du projet EPR2, EDF a développé une démarche propre en s'appuyant sur des normes de soudage européennes et internationales.

L'établissement d'une démarche de QMOS nécessite l'identification de liste des variables essentielles[17]. Cette liste a été complétée par EDF au cours de l'expertise. In fine, **l'identification des variables essentielles par EDF n'appelle pas de remarque de la part de la Direction de l'expertise en sûreté.**

Cependant, pour la variable essentielle « matériau de base », EDF ne considère pas que la combinaison de lots[18] de résines définisse le domaine de validité. Pour EDF, une QMOS réalisée sur un assemblage en PE 100-RC, approvisionné selon son référentiel, permet de qualifier tous les assemblages en PE 100-RC approvisionné selon son référentiel. Cette pratique est différente de celle de l'ASME III qui permet d'éliminer les incertitudes liées aux variabilités des différents additifs propres à chaque référence commerciale et à chaque lot de résine. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, afin d'atteindre l'objectif de la QMOS, et en l'absence de justifications appuyées par des données suffisantes, le domaine de validité de la variable essentielle « matériau de base » doit

[17] Une variable essentielle est une condition ou un paramètre dont une variation en dehors de son domaine qualifié peut entraîner des variations de propriétés mécaniques au-delà des garanties apportées par la qualification de mode opératoire de soudage.

[18] Selon le guide XP/CEN/TS 12201-7 de 2014, un lot de résine est une « *quantité clairement identifiée d'une composition homogène donnée fabriquée en continu dans des conditions uniformes et définie et identifiée par le producteur de la composition* ».

correspondre à la combinaison de lots de résine. **Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté recommande que, lors des qualifications de modes opératoires de soudage du projet EPR2, EDF établisse le domaine de validité de la variable essentielle « matériau de base » au regard de la combinaison des lots de résines (*cf.* Recommandation n° 5 rappelée en Annexe 1 au présent avis d'expertise).**

Il appartiendra à EDF de justifier, préférentiellement par des essais, le domaine de validité de cette variable essentielle en fonction de ses approvisionnements.

Dans sa démarche de QMOS, EDF définit seulement deux types d'assemblage en conditions limites, alors que l'ASME III impose quatre assemblages en conditions limites, afin d'être représentatif de l'ensemble des soudures de production. La Figure 2 ci-dessous illustre ces différences :

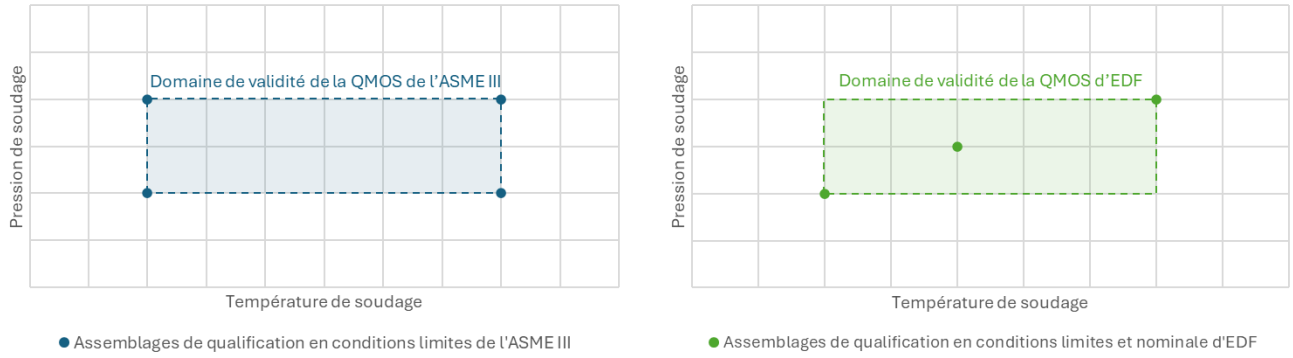

Figure 2. Conditions de soudage des assemblages de qualification de mode opératoire de soudage de l'ASME III (à gauche) et d'EDF (à droite)

Pour la Direction de l'expertise en sûreté, il n'est pas certain que les deux conditions de soudage aux limites proposées par EDF soient les plus défavorables et permettent la représentativité de toutes les soudures de production, en particulier à l'égard de l'apparition du défaut de fusion froide[19]. Ce type de défaut n'est actuellement pas détectable par les contrôles non destructifs, seule la QMOS permet sa prévention. **Ainsi, la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF complète les conditions de soudage aux limites de sa démarche de qualification de mode opératoire de soudage, afin que la qualification de mode opératoire de soudage garantisse les propriétés mécaniques retenues à la conception et l'absence de fusion froide pour l'ensemble des soudures de production (*cf.* Recommandation n° 6 rappelée en Annexe 1 au présent avis d'expertise).**

S'agissant des essais à réaliser lors de la QMOS, EDF s'est engagé à réaliser des essais hydrostatiques sur les assemblages en conditions limites, **ce qui est satisfaisant (*cf.* Engagement n° 4 rappelé en Annexe 2 au présent avis d'expertise)**.

Concernant la formation des intervenants, EDF demande à ses sous-traitants que les soudeurs soient formés. Cependant, EDF n'a pas défini de programme de formation. EDF s'est engagé à communiquer à l'ASNR la durée et le contenu de la formation des soudeurs pour les EPR2 de Penly **(*cf.* Engagement n° 5 rappelé en Annexe 2 au présent avis d'expertise)**. **Cet engagement est satisfaisant pour les EPR2 de Penly. Pour les autres chantiers du programme EPR2, il appartient à EDF de définir dans son référentiel, une durée et un programme minimum de formation des soudeurs des tuyauteries classées de sûreté.**

Au cours de l'expertise, EDF a indiqué que la démarche de QMOS ne serait appliquée qu'aux soudures de site et non aux soudures de préfabrication des raccords[20] en atelier. Pour expliquer cette approche différente, EDF a précisé que les essais d'approvisionnement des raccords seront effectués sur les composants soudés, donc après la réalisation des soudures de préfabrication. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, la démarche mise en

[19] Défaut de soudage généré par un manque de liaison entre les chaînes de polyéthylène des produits à assembler. Les soudures concernées par la fusion froide ont des caractéristiques mécaniques très faibles.

[20] Pièces de forme incluant par exemple les collets, les réducteurs, les coudes et les tés.

œuvre par EDF n'est pas équivalente à une QMOS. En effet, elle ne permet pas d'apporter des garanties de propriétés mécaniques sur des domaines de validité établis par la réalisation d'assemblages aux conditions limites et les essais mécaniques associés, tel qu'illustré sur la Figure 2.

De même, EDF a indiqué que la mise en œuvre de coupons d'habilitation[21] pour les soudeurs ne serait appliquée qu'aux soudures de site et non aux soudures de préfabrication des raccords en atelier. En l'absence de la réalisation de coupons d'habilitation, la démarche d'EDF ne permet pas de vérifier la capacité des soudeurs de préfabrication à produire des soudures dont le profil interne[22] et la compacité[23] sont conformes.

Au regard des éléments qui précèdent, la Direction de l'expertise en sûreté recommande que pour un même niveau de qualité, EDF applique le système de qualité soudage (qualification de mode opératoire de soudage, qualification des soudeurs et coupons d'habilitation) des soudures de site aux soudures de préfabrication (*cf.* Recommandation n° 7 rappelée en Annexe 1 au présent avis d'expertise).

7.2. CONTRÔLE NON DESTRUCTIF

Dans son dossier initial, EDF envisageait un contrôle volumique par ultrasons des soudures par échantillonnage de 10% des soudures réalisées sur site. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, les particularités du PEHD, notamment la sensibilité des soudures à la fissuration lente, ainsi que le choix de pose de type enterré rendent nécessaires le contrôle de l'ensemble des soudures en cohérence avec l'objectif de durée vie annoncée. En fin d'expertise, EDF s'est engagé à un contrôle non destructif volumique par ultrasons de 100% des soudures des tuyauteries d'amenée SEC en PEHD pour l'ensemble des tranches EPR2, **ce qui est satisfaisant (*cf.* Engagement n° 6 rappelé en Annexe 2 au présent avis d'expertise).**

EDF a réalisé une démonstration de performance du procédé de contrôle volumique par ultrasons avancés multiélément[24] et TOFD[25]. Dans la zone proche de la surface de contrôle, les performances de détection des indications revendiquées par EDF dans son dossier initial ne sont plus suffisantes compte tenu des évolutions des critères d'acceptation. **Il appartiendra à EDF de mettre à jour sa démonstration de performance des contrôles volumiques par ultrasons.**

Dans son dossier initial, EDF impose pour chaque assemblage de QMOS un contrôle visuel externe et un contrôle volumique par ultrasons. Toutefois, aucun contrôle visuel interne n'est réalisé. De même, dans son dossier initial, EDF n'impose pas d'examen visuel interne des assemblages de qualification des soudeurs et des coupons d'habilitation. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, les trois types d'assemblages susmentionnés sont les seuls assemblages pour lesquels l'accès au profil interne est possible facilement, sans recourir à des moyens d'inspection télévisuel. Il est donc nécessaire de réaliser des contrôles visuels internes, s'ils ne sont pas envisagés en production. En fin d'expertise, EDF s'est engagé à réaliser des contrôles visuels internes sur les soudures de QMOS et les soudures d'habilitation des soudeurs **(*cf.* Engagement n° 7 rappelé en Annexe 2 au présent avis d'expertise). Ceci est satisfaisant pour les soudures de sites. Cependant, pour les soudures de préfabrication, en l'absence de réalisation de qualification de mode opératoire de soudage et de coupons d'habilitation des soudeurs, aucun contrôle visuel interne ne sera réalisé. Ceci n'est pas satisfaisant et fait l'objet de la Recommandation n° 7 supra.**

---

[21] Les coupons d'habilitations sont des soudures que les soudeurs doivent réaliser avant la première soudure de production et régulièrement lors de la production, afin de s'assurer qu'ils conservent les gestes techniques validés lors de leur qualification

[22] Le profil interne d'une soudure de produits creux, un tube par exemple, est la géométrie de la soudure sur les faces intérieures de ces produits. Ce profil n'est généralement pas accessible sur les soudures de production. EDF vérifie le profil interne des soudures en PEHD du SEC de Penly uniquement sur les soudures de qualification de mode opératoire de soudage et des coupons d'habilitation.

[23] La compacité d'une soudure est la qualité interne de celle-ci. Elle est évaluée en termes de présence de défauts de soudage dans les limites définies par les critères d'acceptation des contrôles volumiques.

[24] Technique ultrasonore mettant en œuvre des sondes constituées de réseaux de traducteurs piézo-électriques pilotés électroniquement à la réception et/ou à l'émission des ondes.

[25] *Time Of Flight Diffraction* : technique de la diffraction en temps de vol. Technique ultrasonore mettant en œuvre deux traducteurs l'un en émission et l'autre en réception et permettant la détection des signaux de diffraction.

EDF exige que les personnels en charge des contrôles, contrôleurs et analystes, soient certifiés[26] au moins « ultrasons niveau 2 ». Cette certification doit être complétée par une formation relative aux techniques mises en œuvre sur les soudures en PEHD. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, la certification « ultrasons niveau 2 », qui vise la mise en œuvre d'ultrasons conventionnels, ne démontre pas l'aptitude des contrôleurs et des analystes à la mise en œuvre et l'interprétation des techniques ultrasons multiélément et TOFD, pour lesquelles des certifications dédiées existent en France. **Pour la Direction de l'expertise en sûreté, l'exigence de personnel certifié dans les techniques mises en œuvre permettrait de renforcer la confiance dans la maîtrise des contrôles volumiques par ultrasons avancés. Il appartient à EDF de justifier la pertinence et la suffisance du programme de formation spécifique des personnels en charge des contrôles des soudures en PEHD des systèmes classés des EPR2.**

8. REMPLAÇABILITÉ

La démonstration de la maîtrise de la durée de vie ne pouvant être apportée avant le début de la construction des tuyauteries en PEHD classés de sûreté de l'EPR2 de Penly fin 2027, il est nécessaire, qu'en cas de défaillance de n'importe quel tronçon, il puisse être remplacé. D'après EDF, la faisabilité d'une telle opération semble acquise et ne prendrait que quelques semaines. L'accès à un tronçon de tuyauteries enterrées en PEHD du SEC des EPR2 de Penly se ferait par simple dévoiement de réseaux de surface sur une profondeur de 3 à 6 m. Par ailleurs, sous les tuyauteries enterrées en PEHD du SEC des EPR2 de Penly, il n'y a que des réseaux[27] qui ne nécessitent pas de maintenance par l'extérieur, ni de remplacement sur la durée de vie d'exploitation des tranches EPR2. **Ainsi, le risque d'endommager les canalisations SEC en cas de défaillance de ces réseaux est écarté, ce qui est satisfaisant pour la Direction de l'expertise en sûreté**. **Par ailleurs, EDF estime la durée de vie de ces réseaux, en particulier celle des conduites CRF**[28] **à plus de 70 ans. Il appartiendra à EDF d'apporter, avant la mise en service, les justifications permettant de garantir l'absence de remplacement de ces conduites sur la durée de vie des réacteurs, et de définir dans le plan de maintenance et de surveillance de ces conduites, les défauts recherchés et les critères associés.**

Le changement d'un tronçon consiste en des opérations de terrassement (blindage, excavation) et de remplacement (découpe, soudage du nouveau tronçon sur le linéaire existant, contrôle des soudures). Ces opérations nécessitent notamment une largeur de fouille minimale contrainte par les dimensions du positionneur[29]. Si la fouille n'est pas suffisamment large, les soudures ne peuvent être réalisées dans ces zones et des pré-assemblages hors fouille pourront être utilisés. Les exigences de préparation des extrémités des tubes, de soudage et de contrôles sont identiques à celles de la construction. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, les principes détaillés par EDF dans son dossier sont pertinents, mais ne sont pas suffisants. Certains aspects, tels que la disponibilité des espaces nécessaires à la manutention des blindages ou la longueur maximale d'un tronçon en PEHD pouvant être manutentionné et installé en fouille sans risque de dégradation n'ont pas été présentés ; toutes les incertitudes de réalisation n'ont donc pas été levées. **En conséquence, la Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF prenne des dispositions constructives complémentaires permettant une remplaçabilité sans équivoque de tout le linéaire du réseau de tuyauterie du SEC des EPR2. À défaut, EDF devra compléter sa démonstration de la remplaçabilité de tout le linéaire des EPR2 de Penly, en montrant de manière quantitative que les opérations nécessaires, de l'excavation au remblaiement, n'engendrent pas de contraintes rendant impossible le remplacement d'un tronçon tout en garantissant le respect des critères pris en compte pour son dimensionnement (absence de dégradation et bonne réalisation des soudures), (*cf.* Recommandation n° 8 rappelée en Annexe 1 au présent avis d'expertise).**

---

[26] Au sens de la norme EN ISO 9712. La confédération française pour les essais non destructifs reconnaît la définition du processus de certification de l'Association Française de Normalisation : « *la certification est une preuve irréfutable, délivrée suite à un audit mené par un organisme certificateur impartial et objectif, qu'un produit, service ou une organisation, respecte les exigences d'un cahier des charges strict* ».

[27] Selon le linéaire actuel des EPR2 de Penly, les réseaux enterrés situés sous les canalisations SEC d'amenée sont les conduites du circuit d'eau de refroidissement (CRF) qui permettent le refroidissement du condenseur (circuit secondaire) et le bloc buse hébergeant les câbles de puissance du Transformateur Auxiliaire (TA).

[28] Circuit d'eau de refroidissement.

[29] Le positionneur de soudage est un outil utilisé dans les opérations de soudage pour manipuler et maintenir les pièces dans des positions optimales pour le soudage.

9. CONCLUSION

La Direction de l'expertise en sûreté souligne l'importance du travail réalisé par EDF pour l'établissement du référentiel de conception, d'approvisionnement, de construction et de contrôle des tuyauteries SEC en PEHD classées de sûreté des EPR2. La Direction de l'expertise en sûreté estime que les éléments partagés dans le cadre de son expertise apportent la raisonnable assurance, moyennant la prise en compte des recommandations figurant en annexe et le respect des engagements pris par EDF au cours de la présente expertise, que le matériau PEHD et les dispositions retenues pour sa mise en œuvre permettront de répondre aux objectifs de sûreté assignés aux systèmes SEC1-2 des EPR2. Elle souligne par ailleurs l'importance des études restant à mener pour justifier la durée de vie des systèmes en PEHD.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté,

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise en sûreté

SIGNATURE ÉLECTRONIQUE ASNR

Hervé
BODINEAU
2025.07.08
19:41:54 +02'00'

ANNEXE 1

Recommandations de la Direction de l'expertise en sûreté

Recommandation n° 1

La Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF anticipe le suivi en service des tuyauteries SEC en PEHD classée de sûreté des EPR2, dès la conception, et propose une solution de suivi en service du mécanisme de fissuration lente.

Recommandation n° 2

La Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF justifie que le couple de serrage des assemblages boulonnés en PEHD permet de garantir l'étanchéité pour la période d'exploitation envisagée ou précise sa stratégie de contrôle et d'ajustement du couple de serrage en tenant compte d'une périodicité au plus égale à 100 000 heures d'exploitation.

Recommandation n° 3

La Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF justifie les valeurs de contraintes admissibles retenues à la conception pour les soudures en PEHD. Cette démonstration devra prendre en compte la présence de désalignement, dans les limites autorisées pour le projet EPR2.

Recommandation n° 4

La Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF définisse, en les justifiant, des critères d'essais d'OIT en lien avec les propriétés des résines caractérisées dans le cadre de ses essais de R&D en cours. Ces critères devront permettre d'identifier une variation acceptable par rapport à une valeur typique déclarée par le fabricant, afin d'être en mesure de détecter une dérive de fabrication.

Recommandation n° 5

La Direction de l'expertise en sûreté recommande que, lors des qualifications de modes opératoires de soudage du projet EPR2, EDF établisse le domaine de validité de la variable essentielle « matériau de base » au regard de la combinaison des lots de résines.

Recommandation n° 6

La Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF complète les conditions de soudage aux limites de sa démarche de qualification de mode opératoire de soudage, afin que la qualification de mode opératoire de soudage garantisse les propriétés mécaniques retenues à la conception et l'absence de fusion froide pour l'ensemble des soudures de production.

Recommandation n° 7

La Direction de l'expertise en sûreté recommande que pour un même niveau de qualité, EDF applique le système de qualité soudage (qualification de mode opératoire de soudage, qualification des soudeurs et coupons d'habilitation) des soudures de site aux soudures de préfabrication.

Recommandation n° 8

La Direction de l'expertise en sûreté recommande qu'EDF prenne des dispositions constructives complémentaires permettant une remplaçabilité sans équivoque de tout le linéaire du réseau de tuyauterie du SEC des EPR2. À défaut, EDF devra compléter sa démonstration de la remplaçabilité de tout le linéaire des EPR2 de Penly, en montrant de manière quantitative que les opérations nécessaires, de l'excavation au remblaiement, n'engendrent pas de contraintes rendant impossible le remplacement d'un tronçon tout en garantissant le respect des critères pris en compte pour son dimensionnement (absence de dégradation et bonne réalisation des soudures).

ANNEXE 2

Engagements principaux d'EDF

Engagement n° 1

EDF formalisera le référentiel de conception, de construction, de contrôles et de suivi en exploitation (principes) des tuyauteries SEC en PEHD classées de sûreté pour le projet EPR2 dans une note qui sera transmise en décembre 2025 à l'ASNR. Les exigences relatives aux compensateurs seront également présentes dans ce référentiel.

Engagement n° 2

EDF mène des travaux visant à évaluer l'impact de la fissuration lente à long terme en partie courante et dans les soudures bout-à-bout des tuyauteries en PEHD pour permettre de conforter les critères retenus pour une durée de vie allant au-delà de 50 ans et jusqu'à 80 ans. Dans ce cadre, EDF prend l'action de présenter à l'ASNR le programme d'essais de ces travaux au premier semestre 2026.

En outre, EDF prend l'action de formaliser et transmettre à l'ASNR, au plus tard le 30 septembre 2025, l'analyse permettant de considérer que la valeur de résultats d'essai de fissuration lente PENT (*Pennsylvania notch test,* ou essai sur entaille de Pennsylvanie) des résines utilisées pour l'amenée SEC 1-2 des EPR2 des sites de bord de mer est supérieure ou égale à 10 000 heures.

Engagement n° 3

EDF transmettra d'ici fin septembre 2025 une analyse de vérification des contraintes limites admissibles pour la température et la durée de vie envisagées, cette analyse intégrera l'interprétation des essais NF EN 9080 des résines qui seront approvisionnées.

Engagement n° 4

Afin de garantir les propriétés mécaniques de l'ensemble des soudures de production, EDF s'engage à réaliser des essais de résistance hydrostatique sur les assemblages soudés aux conditions limites dans le cadre de la réalisation des qualifications de modes opératoires de soudage.

Engagement n° 5

EDF communiquera la durée et le contenu de la formation des soudeurs des tuyauteries SEC en PEHD pour fin novembre 2025.

Engagement n° 6

EDF s'engage à contrôler 100% des soudures des tuyauteries d'amenée SEC en PEHD des EPR2 en contrôle non destructif volumique. Ce taux de contrôle de 100% s'applique pour l'ensemble des tranches EPR2.

Engagement n° 7

EDF exigera un contrôle visuel interne sur les soudures de qualification de mode opératoire de soudage et les soudures d'habilitation des soudeurs. Les défauts suivants seront recherchés, selon la nomenclature de la norme NF EN 14728 : bulle de surface (2MAAA), inclusion de matériau de base (3JAAI), dégradation de polymère (3KAAI/3KAAF), gorge sur le bourrelet (4QBAF), dommage thermique dans une zone non soudée (7BAAA), marque d'outils (9CAAA).