

Fontenay-aux-Roses, le 22 novembre 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2023-00168

**Objet :** Quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe – Confinement des réacteurs

**Réf. :** [1] Avis IRSN N° 2022-00039 du 24 février 2023.  
[2] Saisine ASN – CODEP-DCN-2022-001326 du 13 mai 2022.  
[3] Courrier ASN – CODEP-DCN-2019-009228 du 11 décembre 2019.

### 1. RAPPELS ET HISTORIQUE

Sur les réacteurs de 1300 MWe, le confinement des matières radioactives en cas de survenue d'une situation accidentelle dans le bâtiment réacteur (BR) est assuré par l'étanchéité de l'enceinte interne (EI), en béton précontraint. Une enceinte externe, en béton armé, entoure l'enceinte interne et assure ainsi la protection du BR contre les agressions externes. Ces deux enceintes délimitent un volume appelé « espace entre enceintes » (EEE), au sein duquel les éventuelles fuites radioactives à travers l'enceinte interne sont collectées puis traitées par un système de ventilation équipé de filtres et de pièges à iodes (EDE) avant leur rejet dans l'environnement via la cheminée du bâtiment des auxiliaires nucléaires. Les traversées de l'enceinte qui débouchent soit dans un bâtiment périphérique, soit directement dans l'environnement (cas notamment de la traversée permettant l'accès des matériels volumineux dans le BR, dite « tampon d'accès des matériels (TAM) ») constituent un autre chemin de fuite possible de matières radioactives en cas d'accident dans le BR. À cet égard, les bâtiments périphériques sont équipés de systèmes de confinement dynamique (ventilations) qui assurent la collecte et le traitement des effluents radioactifs avant leur rejet dans l'environnement. Il convient en outre de souligner que certains systèmes utilisés en situation accidentelle véhiculent de l'eau radioactive en dehors du BR et font l'objet d'exigences d'étanchéité spécifiques. Il s'agit des systèmes existants d'injection de sécurité (RIS) et d'aspersion dans l'enceinte (EAS) ainsi que du système d'évacuation ultime de la chaleur de l'enceinte (EAS-ND) utilisé notamment dans les situations avec fusion du cœur (accident grave (AG)) qu'EDF prévoit de déployer dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe (RP4 1300).

L'étanchéité de l'enceinte interne est vérifiée au travers d'une mesure du taux de fuite avant le démarrage du réacteur, puis périodiquement dans le cadre d'essais spécifiques dits « épreuves enceinte<sup>1</sup> ». Les résultats de ces essais ayant montré, pour certaines enceintes, des marges faibles par rapport au taux de fuite maximal

---

<sup>1</sup> Un critère de taux de fuite maximal admissible de l'EI, dans les conditions de l'Accident de Perte de Réfrigérant Primaire (APRP), est inscrit dans les Dossiers d'Autorisation de Création (DAC) des installations nucléaires. Ce taux de fuite maximal est fixé, pour les réacteurs de 1300 MWe, à 1,5 % par jour de la masse du volume de gaz contenu dans l'enceinte interne.

admissible de ces enceintes défini dans les Dossiers d’Autorisation de Création des installations nucléaires, EDF a progressivement déployé à partir de 1998 sur l’intrados<sup>2</sup> des EI des réacteurs de 1300 MWe des revêtements<sup>3</sup> d’étanchéité. À date, deux types de revêtement (appelés par la suite type 1 et type 2), provenant de fournisseurs différents, équipent les enceintes internes. À partir de 2015, EDF a également appliqué des revêtements sur l’extrados<sup>4</sup> des EI de certains réacteurs pour lesquels le taux de fuite mesuré lors de l’épreuve enceinte restait élevé malgré la pose des revêtements à l’intrados.

Dans le cadre du troisième réexamen périodique des réacteurs de 1300 MWe (RP3 1300), l’Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a considéré que les essais menés par EDF permettaient de conclure à la qualification de ces revêtements pour les situations accidentelles de perte de réfrigérant primaire, mais pas pour les situations d’AG. Dans le cadre du RP4 1300, EDF prévoit de valoriser l’étanchéité des revêtements appliqués sur l’intrados et l’extrados des EI pendant une durée de quatre jours après l’entrée en AG.

En ce qui concerne l’EDE, EDF a procédé, dans le cadre du RP3 1300, à une modification substantielle de la conception de ce système afin notamment de prendre en compte les situations d’AG. Par ailleurs, certaines modifications matérielles (déploiement de l’EAS-ND en particulier) et évolutions du référentiel (valorisation des revêtements durant les quatre premiers jours après l’entrée en AG) prévues dans le cadre du RP4 1300 ont un impact potentiel sur la performance du système.

Enfin, dans son avis [1], l’IRSN considérait que la démonstration de l’étanchéité des joints du TAM en conditions d’AG n’est actuellement pas acquise pour les réacteurs du parc en exploitation. Dans le cadre de l’expertise afférente, EDF s’est engagé à transmettre dans un premier temps le bilan des mesures d’écartement des brides<sup>5</sup> du TAM réalisées sur les réacteurs du parc en exploitation puis à démontrer, sur la base de ces mesures, l’étanchéité des joints du TAM à l’issue de la phase de refroidissement consécutive à une situation d’AG, caractérisée par une baisse progressive de la pression et de la température dans l’enceinte.

## 2. CONTOUR DE L’ANALYSE

Dans le cadre du RP4 1300, l’Autorité de sûreté nucléaire (ASN), par sa lettre en référence [2], sollicite l’avis de l’IRSN sur les points suivants :

- la suffisance des performances des revêtements d’étanchéité (revêtements posés à l’intrados et à l’extrados des enceintes internes) ;
- la suffisance des modifications apportées à l’EDE, au regard des sollicitations retenues à l’état RP4 ;
- l’étanchéité des joints du TAM à l’issue de la phase de refroidissement consécutive à un AG.

S’agissant de l’étanchéité du TAM, l’expertise concerne l’ensemble des réacteurs du parc en exploitation. En effet, ce point n’est pas spécifique aux réacteurs de 1300 MWe.

L’IRSN expose ci-après les conclusions de l’expertise qu’il a menée pour répondre aux différents points susmentionnés. Il apporte également des réponses à certaines questions soulevées au cours du dialogue technique organisé par l’Association nationale des comités et commissions locales d’information (ANCCLI).

---

<sup>2</sup> Face de l’EI située dans le BR.

<sup>3</sup> Ces revêtements composites sont constitués de plusieurs couches, appliquées suivant un protocole de pose. À la fin du processus, le béton est couvert d’une coque rigide d’environ 3 mm d’épaisseur. Les surfaces revêtues sont variables d’une enceinte à l’autre et peuvent atteindre plusieurs milliers de m<sup>2</sup>.

<sup>4</sup> Face de l’EI située dans l’EEE.

<sup>5</sup> Les brides et l’environnement des joints d’étanchéité du TAM sont illustrés en Annexe 3.

### 3. COMPORTEMENT DES REVÊTEMENT POSÉS À L'INTRADOS DES ENCEINTES INTERNES EN CONDITIONS D'ACCIDENT GRAVE

#### 3.1. DÉMARCHE DE QUALIFICATION AUX CONDITIONS D'ACCIDENT GRAVE

La démarche de qualification des revêtements d'étanchéité posés à l'intrados de l'EI aux conditions d'AG retenue par EDF suit la méthodologie suivante :

- définition de deux critères de qualification à respecter durant les quatre premiers jours d'exposition aux conditions d'ambiance de l'AG :
  - un critère d'étanchéité, correspondant à un débit de fuite maximal à respecter par les revêtements égal à 15 NI/m<sup>2</sup>/h d'air sec<sup>6</sup> sous une pression de 5,3 bars, enveloppe de la pression de dimensionnement de l'EI des réacteurs de 1300 MWe et de 1450 MWe,
  - un critère d'adhérence, non chiffré, d'absence d'un décollement généralisé du revêtement ;
- définition d'un chargement représentatif des conditions auxquelles les revêtements peuvent être exposés au cours d'un AG (température, irradiation, pression, composition des gaz), mais également de l'historique vu par le revêtement avant l'entrée en AG (irradiation de vieillissement<sup>7</sup>, APRP) ;
- exposition à ces chargements de dalles en béton revêtues ;
- découpage d'éprouvettes dans ces dalles et réalisation des essais d'adhérence et d'étanchéité des revêtements. **La qualification est prononcée si les résultats de ces essais respectent les critères susmentionnés.**

#### 3.2. CRITÈRES DE QUALIFICATION RETENUS PAR EDF

Concernant le critère d'étanchéité, l'IRSN n'a pas de remarque sur la valeur retenue par EDF qui découle de la valeur du taux de fuite maximal acceptable de l'EI vérifiée lors des épreuves enceinte. Toutefois, au cours de l'expertise, EDF a indiqué que cette valeur n'était qu'une valeur repère à respecter en moyenne lors des essais de qualification. Au regard des disparités des valeurs d'étanchéité obtenues lors des campagnes d'essais, l'IRSN a jugé que cette approche n'était pas satisfaisante. Sur ce point, EDF s'est engagé (voir l'engagement n° 1 présenté en annexe 2) à associer un intervalle de confiance à cette valeur repère et à en préciser les conditions d'application. **L'IRSN estime cet engagement satisfaisant dans le principe.**

Concernant le critère d'adhérence, l'IRSN considère que l'absence de décollement généralisé n'empêche pas l'existence de zones décollées en périphérie du revêtement, susceptibles de permettre aux gaz présents dans le BR de traverser la paroi de l'EI (perte d'étanchéité). Sur ce point, EDF a indiqué que les essais à grande échelle réalisés sur la maquette MAEVA<sup>8</sup> n'ont montré aucun phénomène de contournement du revêtement. De plus, il s'est engagé (voir l'engagement n° 2 présenté en annexe 2) à présenter les résultats des contrôles des revêtements réalisés avant et après les épreuves enceintes, **ce qui est satisfaisant**. À cet égard, l'IRSN souligne, en réponse notamment à une préoccupation exprimée au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI, que les revêtements d'étanchéité peuvent être réparés ou remplacés.

<sup>6</sup> Le N majuscule placé devant une unité de volume, ici, le litre, se lit Normo. Il signifie que le volume est exprimé pour un gaz à la pression d'une atmosphère et à la température de 0°C.

<sup>7</sup> L'irradiation de vieillissement correspond à l'irradiation à laquelle les revêtements sont exposés en fonctionnement normal du réacteur, intégrée sur la durée totale d'exploitation.

<sup>8</sup> La maquette MAEVA est une maquette à l'échelle 1/3 de l'enceinte des réacteurs de 1300 MWe installée sur le site de Civaux et dont la moitié de la surface interne de l'enceinte a été revêtue de revêtements en matériaux composites. Cette maquette a permis de prendre en compte les conditions de mise en œuvre de revêtements intrados à l'échelle industrielle et d'étudier leur comportement sous des chargements de pression et de température en conditions accidentelles.

### 3.3. ÉTANCHÉITÉ DES REVÊTEMENTS EN CONDITIONS D'AG

Concernant l'étanchéité des revêtements, l'expertise des résultats des essais menés par EDF lors des deux campagnes réalisées en 2014 et en 2022 a mis en évidence :

- des ordres de grandeur très différents entre les débits de fuite mesurés durant les campagnes de 2014 et de 2022, ces écarts n'étant pas expliqués à ce jour ;
- une dispersion significative des résultats des mesures de débits de fuite réalisées en 2022 sur des couples d'éprouvettes exposées à un chargement identique ;
- le dépassement du critère d'étanchéité de 15 NI/m<sup>2</sup>/h d'air sec sur certaines éprouvettes.

À la fin de l'expertise, EDF a remis en cause la fiabilité de son protocole expérimental et en conséquence les résultats des mesures d'étanchéité. De ce fait, EDF s'est engagé à fiabiliser pour mars 2024 la procédure de préparation des éprouvettes et de réalisation des essais d'étanchéité, **ce qui est satisfaisant**. Une fois la procédure fiabilisée, EDF lancera une nouvelle campagne d'essais sur les revêtements de type 1, à échéance fin 2026 (voir l'engagement n° 3 présenté en annexe 2), en conservant le même protocole expérimental et les mêmes chargements que ceux retenus lors de la campagne de 2022. Or EDF n'a pas démontré le caractère pénalisant de ces chargements vis-à-vis de l'étanchéité et de l'adhérence des revêtements<sup>9</sup>. À cet égard, l'IRSN estime nécessaire de réaliser des essais à « effets séparés » permettant de comprendre l'influence sur les propriétés des revêtements de chacun des paramètres (pression, température, irradiation, etc.) pris séparément. EDF a convenu de l'intérêt de tels essais, mais conditionne leur réalisation à une étude bibliographique préliminaire (voir l'engagement n° 4 présenté en annexe 2).

**En tout état de cause, la qualification des revêtements de l'enceinte interne en AG ne pourra être acquise qu'à la condition qu'EDF démontre que les conditions expérimentales retenues lors de la campagne d'essais prévue à échéance 2026 sont effectivement pénalisantes vis-à-vis de l'étanchéité et de l'adhérence des revêtements. Des essais à effets séparés permettraient de s'assurer de ce point.**

Par ailleurs, EDF ne prévoit pas d'essais sur les revêtements de type 2 du fait de difficultés d'approvisionnement<sup>10</sup>. Or, des revêtements de ce type sont installés à l'intrados de plusieurs EI d'EDF, parfois sur des surfaces importantes. Il est donc nécessaire que la démonstration de leur qualification en conditions d'AG soit apportée. **Ce point fait l'objet de la recommandation n° 1 présentée en annexe 1.**

Le maintien d'une étanchéité suffisante des revêtements composites pendant au moins 4 j en AG n'étant à ce jour pas démontré, l'IRSN considère qu'il est nécessaire d'apprécier l'impact sur la sûreté d'une diminution précoce de leur efficacité. Sur ce point, EDF s'est engagé à réaliser à court terme une étude de sensibilité sur les conséquences radiologiques d'un AG, en considérant différentes cinétiques de dégradation de l'efficacité des revêtements composites (voir l'engagement n° 5 présenté en annexe 2). **L'IRSN estime cet engagement satisfaisant** et souligne, pour répondre à une des préoccupations exprimées au cours du dialogue technique organisé avec l'ANCCLI que, dans le cadre de cette étude, différents taux de fuites de l'EI seront considérés.

### 3.4. PRÉSENCE DE POINTS CHAUDS AU VOISINAGE DE CERTAINS REVÊTEMENTS

Un AG peut entraîner un risque d'explosion d'hydrogène à l'intérieur du BR. Pour limiter ce risque, des recombinaisons autocatalytiques passifs (RAP) ont été installés dans le BR pour l'ensemble des réacteurs du parc en exploitation. Ces dispositifs permettent de recombinaison les atomes d'hydrogène avec des atomes d'oxygène de l'atmosphère de l'enceinte pour former de la vapeur d'eau. La réaction de recombinaison est fortement exothermique et des températures élevées peuvent être atteintes au niveau de ces RAP. Or certains d'entre eux

<sup>9</sup> À titre d'exemple, l'irradiation de vieillissement considérée durant la campagne de 2022 est bien plus élevée que l'irradiation à laquelle des revêtements pourraient être exposés sur la durée de fonctionnement des réacteurs, sans qu'il soit démontré que ce paramètre joue de manière défavorable sur l'étanchéité.

<sup>10</sup> Certains des produits constitutifs de couches du revêtement de type 2 ne sont plus fabriqués par le fournisseur.

sont situés à proximité de parois revêtues de l'EI et EDF n'a pas évalué les conséquences de ces températures sur les revêtements. Sur ce sujet, EDF a pris l'engagement n° 6 présenté en annexe 2 **que l'IRSN estime satisfaisant.**

### 3.5. DÉBRIS ISSUS DES REVÊTEMENTS D'INTRADOS

Au cours de l'expertise, l'IRSN a estimé qu'EDF devait s'assurer que les débris de revêtement susceptibles d'être générés en situation accidentelle (APRP, AG) ne conduisent pas à terme au colmatage des filtres situés dans les puisards du fond du BR dans lesquels les systèmes, requis pour la gestion de ces situations, aspirent de l'eau lors de leur fonctionnement en mode de recirculation. En réponse, EDF a précisé que les débris issus de la dégradation des revêtements du fait des conditions d'ambiance régnant dans le BR en AG sont équivalents aux débris de la peinture du BR et qu'il transmettrait à ce sujet un dossier en 2025. EDF a également indiqué que des essais, dont les résultats sont attendus en 2026, seraient menés sur le comportement des revêtements qui seraient immergés dans les puisards du fond du BR en situation accidentelle, **ce qui est satisfaisant.**

## 4. COMPORTEMENT DES REVÊTEMENTS POSÉS À L'EXTRADOS DES ENCEINTES INTERNES EN CONDITIONS D'ACCIDENT GRAVE

Dans le cadre du RP4 1300, l'ASN a demandé à EDF [3] de démontrer la capacité des revêtements posés à l'extrados des EI à suivre les déformations de l'enceinte, pour la situation enveloppe des dômes<sup>11</sup> des EI des réacteurs des paliers P'4 et N4 en situation d'AG. Dans le cadre de la présente expertise, l'IRSN a analysé la pertinence des chargements retenus et la suffisance du comportement, en conditions d'AG, des trois types de revêtement d'extrados.

En situation d'AG, EDF retient, sur la durée de quatre jours de valorisation des revêtements d'extrados, les mêmes exigences d'étanchéité que celles retenues en APRP et y ajoute une exigence portant sur la capacité de ces revêtements à suivre les déformations maximales des dômes pouvant être induites par un AG. Toutefois, EDF ne retient plus, comme en APRP, de critère de pontage<sup>12</sup> de fissure, mais uniquement un critère de déformation maximale du support béton. EDF a mené une campagne d'essais en 2022 sur ces revêtements pour confirmer leur comportement en situation d'AG au regard notamment de ce critère de déformation du support. Ces essais permettent de prendre en compte l'influence de l'échelle de l'éprouvette revêtue, deux modes de sollicitation de cette éprouvette (traction ou flexion) et de caractériser, après sollicitation, l'adhérence et l'étanchéité du revêtement. Pour EDF, pour les trois types de revêtement d'extrados, les résultats de ces essais montrent que les revêtements ne se déchirent pas pour des déformations du support béton supérieures à celles pouvant être observées en AG ; en outre, les débits de fuite sont conformes au critère fixé dans le DAC et les valeurs d'adhérence résiduelle confirment le respect de l'exigence d'absence de dégradation généralisée. Pour l'IRSN, il est nécessaire de ne pas dissocier l'état de déformation du support béton de son état de fissuration, le revêtement devant alors rester étanche malgré l'ouverture des fissures. À l'issue de l'expertise, EDF s'est engagé à fournir des justifications complémentaires concernant l'ouverture maximale des fissures qui peuvent se développer sur les dômes des réacteurs en situation d'AG (voir l'engagement n° 7 présenté en annexe 2). Pour l'IRSN, EDF doit encore démontrer que les revêtements d'extrados valorisés sur le parc en exploitation sont capables de ponter de telles ouvertures de fissures tout en accompagnant les déformations des enceintes qui en sont à l'origine. **Sur ce sujet, l'IRSN formule la recommandation n° 2 présentée en annexe 1.**

---

<sup>11</sup> Le dôme désigne la partie haute de forme hémisphérique de l'EI. Les études des effets des conditions de chargement AG ont mis en évidence un risque de fissuration des dômes des réacteurs des paliers P'4 et N4. EDF a alors décidé de poser des revêtements d'étanchéité sur la partie centrale de ces dômes à l'extrados.

<sup>12</sup> Capacité du revêtement à boucher une fissure sans se déchirer.

## 5. VÉRIFICATION DE LA PERFORMANCE DE L'EDE

Le dossier transmis par EDF dans le cadre de la présente expertise n'a pas permis à l'IRSN de statuer sur le caractère suffisant des modifications effectuées en RP3 1300 sur le système EDE pour lui permettre d'assurer, dans les conditions du référentiel de sûreté RP4 1300, la collecte et le traitement des fuites de l'EI ainsi que le maintien de la dépression dans l'EEE, notamment dans les situations d'AG pouvant conduire à une défaillance précoce de l'étanchéité des revêtements. En particulier, certaines hypothèses retenues par EDF dans ses études nécessitent d'être justifiées et certaines erreurs corrigées. EDF s'est engagé (voir engagement n° 8 présenté en annexe 2) à confirmer les limites de fonctionnement du système EDE en tenant compte des remarques formulées par l'IRSN au cours de l'expertise, ce qui est satisfaisant.

## 6. ÉTANCHÉITÉ DES JOINTS DU TAM EN ACCIDENT GRAVE

### 6.1. BILAN DES MESURES D'ÉCARTEMENT DES BRIDES DU TAM

Pour chaque palier, EDF précise les mesures d'écartement entre les deux brides du TAM disponibles et les compare aux critères à ne pas dépasser. Ces critères, de l'ordre de quelques millimètres, sont spécifiques à chaque palier. Pour les réacteurs du palier 900 MWe et du palier P4, les écartements maximaux constatés sur la base des mesures disponibles sont proches des critères alors que, pour les réacteurs des paliers P'4 et N4, les mesures réalisées montrent davantage de marge. Néanmoins, le bilan de l'état d'écartement des brides n'a pas pu être dressé sur l'ensemble des réacteurs du parc en exploitation compte tenu de l'hétérogénéité des contrôles et mesures demandés dans les procédures de fermeture des TAM applicables sur les différents sites. À cet égard, les nouvelles procédures de fermeture du TAM parues en juin 2023 intègrent une mesure systématique de l'écartement des brides, **ce qui permettra un suivi de l'état d'écartement inter brides sur l'ensemble des réacteurs du parc en exploitation et d'affiner, le cas échéant, les critères retenus.**

Compte tenu de la mise en œuvre de ces nouvelles procédures, les mesures d'écartement des brides seront disponibles sur 75 % des réacteurs du parc en exploitation fin décembre 2024. **L'IRSN considère que, sur la base de cet échantillonnage de mesures, EDF devrait ainsi pouvoir dresser fin 2024 un premier bilan de l'étanchéité des TAM des enceintes du parc en exploitation en conditions d'accident grave, bilan qui devra être complété quand l'ensemble des mesures auront été collectées.**

L'IRSN note toutefois que, dans ces nouvelles procédures de fermeture du TAM, la périodicité de la mesure d'écartement et la conduite à tenir en cas de dépassement du critère ne sont pas mentionnées. EDF a alors précisé que la mesure de l'écartement inter brides est réalisée à chaque fermeture du TAM, a minima pour les états de tranche pour lesquels la fermeture du TAM est requise, **ce qui est satisfaisant.** De plus, il s'est engagé à intégrer la conduite à tenir en cas de dépassement du critère d'écartement maximal autorisé dans les procédures de fermeture du TAM d'ici 2028 (voir engagement n° 9 présenté en annexe 2). **L'IRSN estime cet engagement satisfaisant dans le principe, mais l'échéance associée particulièrement lointaine. Ainsi, il appartient à EDF de préciser les mesures provisoires mises en place jusqu'en 2028 en cas de dépassement du critère d'écartement inter brides des TAM des enceintes du parc en exploitation.**

### 6.2. DÉMONSTRATION DE L'ÉTANCHÉITÉ DU SYSTÈME « JOINTS DES TAM + BRIDES » À L'ISSUE DE LA PHASE DE REFROIDISSEMENT CONSÉCUTIVE À UN AG

Pour apporter la démonstration de l'étanchéité des joints du TAM à l'issue de la phase de refroidissement consécutive à un AG, EDF doit s'assurer, *a minima*, que le taux de compression<sup>13</sup> ou le taux de remplissage<sup>14</sup> des

<sup>13</sup> État de compression des joints dans leur gorge.

<sup>14</sup> État d'occupation du volume disponible par les joints dans leur gorge.

joints est suffisant sur toute la durée de l'AG en tenant compte des écartements inter brides et des tolérances dimensionnelles des joints.

L'IRSN estime que les éléments transmis à ce jour par EDF sont insuffisants pour pouvoir permettre de conclure positivement sur le sujet. EDF s'est ainsi engagé à réduire les tolérances de fabrication des joints pour exclure les plus petits, à étudier la possibilité d'augmenter le serrage des systèmes de fermeture des brides du TAM et à mettre en œuvre un programme de caractérisation des joints. Ce programme, qui combinerà des essais sur échantillons, des essais sur maquette et des modélisations numériques pour prendre en compte les propriétés non-linéaires des joints dans leur environnement et en fonction du chargement AG, **devrait permettre à EDF de valider son hypothèse d'une variation du taux de compression limite en fonction de la pression de sollicitation pour des joints progressivement irradiés au cours de l'AG et de justifier les critères d'écartement inter brides admissibles retenus dans ses nouvelles gammes de fermeture.**

**Ainsi, EDF devrait disposer, en décembre 2024, de l'ensemble des éléments nécessaires (mesures de l'écartement inter brides sur un échantillonnage représentatif et résultats de son programme de caractérisation des joints) pour pouvoir justifier l'étanchéité des TAM des réacteurs du parc en exploitation en conditions d'AG.**

## 7. CONCLUSION

Les conclusions de l'IRSN concernant la qualification aux conditions des accidents graves des revêtements d'étanchéité des enceintes internes, le système EDE et l'étanchéité du TAM sont présentées ci-après.

En ce qui concerne les revêtements posés à l'intrados des enceintes internes, la remise en cause par EDF de la fiabilité des mesures d'étanchéité ne permet pas à ce jour de conclure quant à leur qualification aux conditions d'ambiance induites par un accident grave. EDF prévoit de fiabiliser son procédé de mesure et d'effectuer une nouvelle campagne d'essais de qualification, à échéance 2026, pour un des deux types de revêtements. Le caractère pénalisant, vis-à-vis de l'étanchéité et de l'adhérence, des chargements retenus pour ces essais devra être justifié par EDF. De plus, il doit également démontrer la qualification du second type de revêtement. Dans l'attente de ces éléments, EDF s'est engagé à évaluer à court terme les effets sur les conséquences radiologiques d'un accident grave d'une perte précoce de l'étanchéité des revêtements, afin de mieux apprécier les enjeux de sûreté. En ce qui concerne les revêtements posés à l'extrados des enceintes internes, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF démontre que l'étanchéité reste assurée par ces revêtements malgré l'ouverture de fissures dans le béton du dôme induites par les déformations des enceintes en accident grave.

Par ailleurs, EDF confirmera prochainement que les modifications effectuées sur le système EDE en RP3 1300 sont suffisantes pour assurer, en RP4 1300, la collecte et le traitement des fuites de l'EI ainsi que le maintien de la dépression dans l'EEE malgré une défaillance précoce de l'étanchéité des revêtements de l'enceinte.

Concernant le maintien de l'étanchéité des TAM dans les conditions d'un accident grave, EDF a lancé plusieurs actions qui devraient lui permettre de disposer, fin 2024, et pour tous les réacteurs du parc en exploitation, de l'ensemble des éléments nécessaires pour pouvoir justifier du maintien de cette étanchéité.

Enfin, au cours de la présente expertise, EDF a pris sur plusieurs sujets des engagements que l'IRSN estime satisfaisants.

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## **ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2023-00168 DU 22 NOVEMBRE 2023**

### **Recommandations de l'IRSN**

#### **Recommandation n° 1**

L'IRSN recommande qu'EDF justifie la qualification aux conditions des accidents graves des revêtements posés à l'intrados des enceintes internes pour lesquels il ne prévoit pas de démonstration de leur qualification par essai.

#### **Recommandation n° 2**

L'IRSN recommande qu'EDF démontre la capacité des revêtements d'extrados mis en œuvre sur les enceintes des réacteurs du parc en exploitation à suivre, sans perte d'étanchéité, les déformations de l'enceinte en situation d'accident grave en considérant conjointement l'état de fissuration du support béton associé à ces déformations.

## ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2023-00168 DU 22 NOVEMBRE 2023

### Engagements principaux de l'exploitant

#### Engagement n° 1

EDF définira un intervalle de confiance associé à la valeur repère d'étanchéité des revêtements de 15 NI/h/m<sup>2</sup> afin de déterminer si les échantillons testés restent statistiquement proches et représentatifs de cette valeur. EDF précisera pour mars 2024 les conditions d'applicabilité de cette valeur repère d'étanchéité de 15 NI/h/m<sup>2</sup>.

#### Engagement n° 2

EDF présentera le retour d'expérience de l'état des revêtements avant et après épreuve enceinte lors de la prochaine réunion annuelle enceinte début 2024.

#### Engagement n° 3

EDF fiabilisera pour mars 2024 une procédure de préparation des éprouvettes et de réalisation d'essais d'étanchéité. Cette procédure valorisera les enseignements des investigations en cours portant sur la campagne d'essais 2022 non conclusive. En particulier, EDF tirera les enseignements :

- des échantillons disponibles et exploitables ;
- des essais de répétabilité menés sur différentes éprouvettes du programme de 2022 ;
- d'éventuels échantillons dits « modèles », c'est-à-dire permettant de découpler les paramètres opératoires du banc de la mesure d'effets propres aux éprouvettes et à leur préparation.

Sur la base de cette nouvelle procédure, EDF lancera une nouvelle campagne d'essais en respectant le référentiel de la campagne de 2022.

EDF estime que la réalisation de cette campagne nécessite un délai de l'ordre de 3 ans, soit une fin de la campagne d'essais à échéance de fin 2026.

#### Engagement n° 4

Dans le cadre d'une démarche de R&D portant sur l'amélioration des connaissances, EDF réalisera d'ici fin 2026 une étude bibliographique et une analyse comparative portant sur l'influence des différents paramètres relevés vis-à-vis de la performance des revêtements.

Sur la base de cette étude, EDF se positionnera sur un programme d'essais paramétrique. Cette position tiendra aussi compte des résultats de la nouvelle campagne d'essais citée dans l'Engagement n° 3.

#### Engagement n° 5

EDF réalisera d'ici fin octobre 2023 une étude de sensibilité sur les conséquences radiologiques d'un AG, en considérant différentes cinétiques de dégradation de l'efficacité des revêtements composites.

#### Engagement n° 6

EDF transmettra d'ici mi 2024 une analyse permettant d'apprécier les conditions de chargement des revêtements, notamment les températures apparentes sous l'effet du fonctionnement des recombineurs, et se positionnera sur l'impact de ces conditions de chargement.

### **Engagement n° 7**

EDF transmettra une justification complémentaire de son estimation de la fissuration maximum sur les dômes en situation d'AG à échéance de fin septembre 2023.

### **Engagement n° 8**

Pour fin octobre 2023, EDF confirmera les limites de fonctionnement du système EDE avec :

- la justification du caractère pénalisant des scénarios accidentels considérés pour la détermination des conditions thermohydrauliques dans l'EEE ;
- l'analyse de l'absence d'impact d'une éventuelle défaillance des revêtements d'étanchéité posés à l'intrados de l'EI dès le début de l'entrée en AG ;
- et les effets du refroidissement des gaz entre l'EEE et l'amont du réchauffeur sur l'efficacité des pièges à iode.

### **Engagement n° 9**

EDF mentionnera dans les nouvelles procédures de fermeture des TAM la conduite à tenir en cas de dépassement de l'écartement maximal autorisé. Le serrage maximal autorisé des systèmes de fermeture des TAM pour réduire ce jeu sera précisé.

Ces mentions seront intégrées d'ici 2028 afin de tenir compte des délais de réalisation des études de détermination des couples de serrages maximaux admissibles sur l'ensemble des paliers, des délais d'intégration dans l'ensemble des procédures des fournisseurs, et des délais de déploiement sur site de ces nouvelles procédures sans perturber les opérations déjà contractualisées.

## ANNEXE 3 À L'AVIS IRSN N° 2023-00168 DU 22 NOVEMBRE 2023

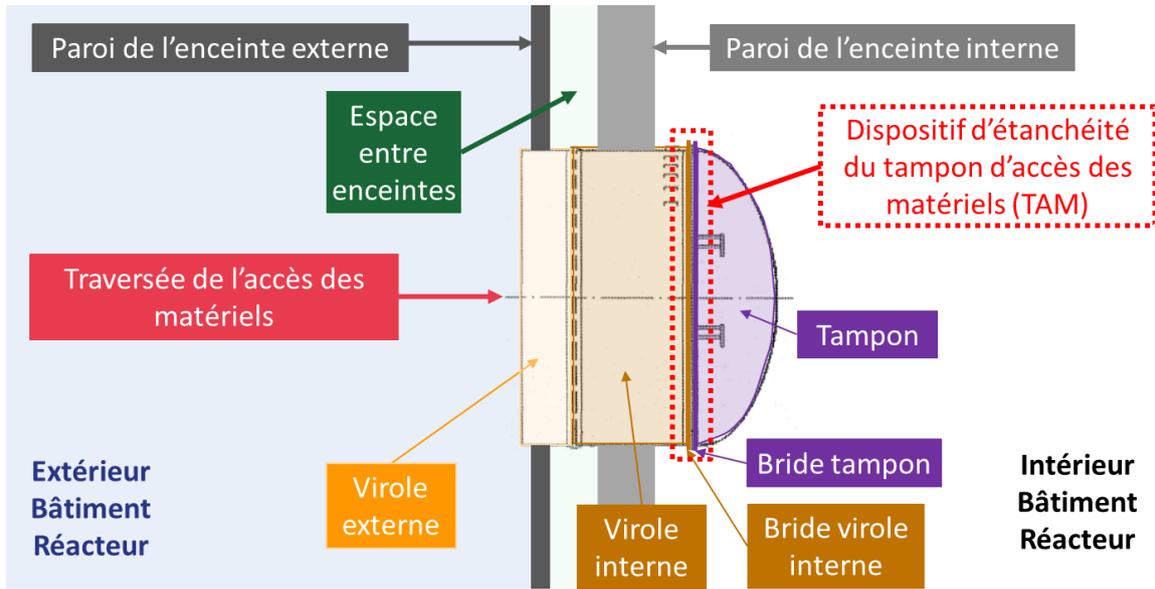


Figure 1. Schéma de principe de la traversée de l'enceinte d'un réacteur de 1300 MWe permettant l'accès des matériels

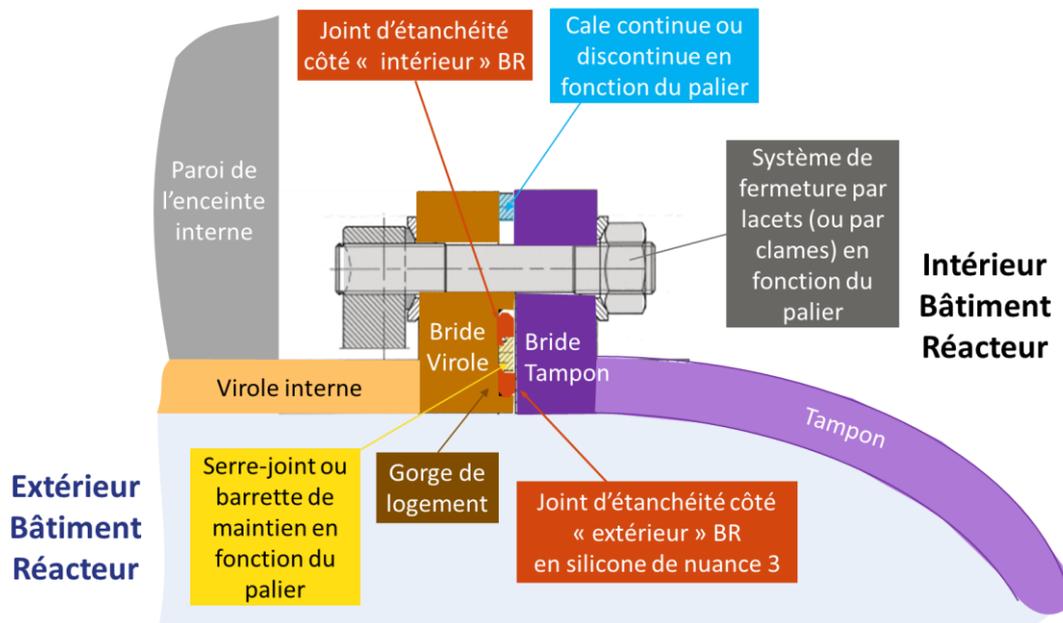


Figure 2. Schéma de principe de l'environnement mécanique du double joint d'étanchéité du TAM d'une enceinte d'un réacteur de 1300 MWe