

Fontenay-aux-Roses, le 25 mai 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2023-00073

**Objet :** Anneau d'étanchéité autour de la cuve placé au fond de le piscine du bâtiment réacteur - Réacteurs électronucléaires EDF du CNPE du Bugey.

**Réf. :** [1] Saisine ASN CODEP-DCN-2021-027343 du 25 janvier 2023.  
[2] Avis IRSN n° 2022-00062 du 25 mars 2022.  
[3] Décision CODEP-LYO-2022-038080 du 3 août 2022.

Conformément à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a analysé le dispositif d'étanchéification du puits de cuve des réacteurs de la centrale nucléaire du Bugey, déployé à l'occasion de leur quatrième visite décennale. L'analyse tient compte des dernières évolutions de conception de ce dispositif.

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. CONTEXTE

Dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe, et considérant la nécessité d'améliorer la robustesse des réacteurs aux situations extrêmes (à la suite de l'accident survenu sur la centrale nucléaire de Fukushima Dai-ichi en mars 2011), Électricité de France (EDF) a notamment retenu de mettre en place des dispositions complémentaires visant à améliorer la gestion des situations d'accident avec fusion du cœur, aussi dénommé accident grave (AG).

En particulier, pour réduire le risque de percement du radier du réacteur par interaction entre le béton et le corium en situation d'AG avec rupture de la cuve et stabiliser le corium hors cuve, mais également pour éviter le phénomène d'explosion de vapeur dans le puits de cuve, ce dernier doit être maintenu à sec jusqu'à l'étalement complet du corium dans le puits de cuve et le local adjacent avant son renoyage.

Dans les réacteurs du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) du Bugey, il existe un espace libre entre la cuve et le puits de cuve qui permet un écoulement d'eau dans le puits de cuve en cas de fonctionnement du système d'aspersion dans l'enceinte (EAS). EDF a donc conçu pour ces réacteurs un dispositif spécifique d'étanchéification du puits de cuve.

Ce dispositif est composé de deux anneaux concentriques équipés chacun d'un batardeau vertical. L'un, dit « anneau interne », est positionné sur la collerette de cuve et retient l'eau provenant du système d'aspersion de

l'enceinte présente entre la cuve et le batardeau, l'empêchant ainsi de cheminer vers le puits de cuve. L'autre, dit « anneau externe », est positionné sur le plancher de la piscine du bâtiment réacteur (BR) et empêche le ruissellement de l'eau qui s'y trouverait vers le puits de cuve. Chaque anneau est composé de trois secteurs boulonnés. L'étanchéité entre les secteurs boulonnés est assurée par trois joints plats.

L'espace libre entre les deux batardeaux est protégé de l'eau provenant du système d'aspersion de l'enceinte par l'anneau de protection biologique situé juste au-dessus et qui joue le rôle de parapluie.

L'étanchéité du dispositif à l'interface piscine/anneau externe est assurée par un joint en silicone, situé sous l'anneau externe et positionné dans une gorge ; l'ensemble est compressé sur le plancher de la piscine par des étriers anti-envol.

Dans la première conception du dispositif, EDF utilisait, pour assurer l'étanchéité de l'anneau interne, un joint en silicone, comme pour l'anneau externe, positionné dans la gorge de la collerette de cuve sous l'anneau interne. Des manchettes rigides en acier inoxydable reliant les deux anneaux permettaient l'écoulement de l'eau accumulée côté interne vers le côté externe et la piscine du réacteur. À la suite du premier déploiement du dispositif, réalisé sur le réacteur n° 2 du CNPE du Bugey à l'occasion de sa quatrième visite décennale, plusieurs événements significatifs pour la sûreté ont remis en cause la conception initiale du dispositif :

- lors du démarrage du réacteur, la montée en pression et en température du circuit primaire principal a occasionné un déplacement relatif de la cuve par rapport au plancher de la piscine du réacteur. Ce déplacement a induit un déplacement de l'anneau interne positionné sur la collerette de cuve. Les liaisons rigides entre les deux anneaux ont alors entraîné un décollement de l'anneau externe conduisant à la perte d'étanchéité du dispositif. EDF a donc remplacé les liaisons rigides par des manchettes tubulaires souples en acier inoxydable ;
- après un cycle de fonctionnement sur le réacteur n° 2 du CNPE du Bugey, il a été constaté que le joint en silicone positionné sous l'anneau interne était dégradé du fait du chargement thermique subi tout au long du cycle, la température rencontrée dépassant largement la température de qualification du joint. Cet événement significatif a fait l'objet de l'avis de l'IRSN cité en référence [2] et l'ASN a alors mis en demeure [3] EDF de traiter l'écart de conformité affectant le joint intérieur du dispositif d'étanchéification des réacteurs du CNPE du Bugey au plus tard lors de leur prochain arrêt pour rechargement du combustible.

Dans la dernière conception du dispositif, le joint intérieur en silicone est remplacé par une tresse en graphite, plus résistante à hautes températures, insérée dans la gorge de la collerette de la cuve sous l'anneau interne. Elle est compressée par le poids du calorifuge de la cuve qui repose directement sur l'anneau interne. La tresse en graphite ne permettant pas une étanchéité complète (contrairement à un joint en silicone), il est prévu que les fuites potentielles soient récupérées par une goulotte située sous l'anneau interne. Cette goulotte permet d'évacuer l'eau vers le système de collecte des purges, événements et exhaures nucléaires (système RPE). Entre outre, compte tenu des chargements thermiques subis par l'anneau interne, EDF a également remplacé les joints plats en silicone positionnés entre les secteurs boulonnés de l'anneau interne par des joints en graphite.

## 1.2. SAISINE DE L'ASN

Par la saisine citée en référence [1], l'ASN a demandé l'avis de l'IRSN sur la pertinence des éléments apportés par EDF pour justifier le respect des exigences et la suffisance du point de vue de la sûreté de l'anneau d'étanchéité modifié situé en fond de piscine des réacteurs du Bugey.

L'ASN souhaite en particulier disposer de la position de l'IRSN sur les points suivants :

- le respect des exigences associées à l'anneau dans les conditions normales d'exploitation et en situation d'AG ;
- la robustesse de l'anneau vis-à-vis d'un séisme de niveau SMS<sup>1</sup> et SND<sup>2</sup> ;
- la pertinence des critères permettant de vérifier, après la pose du dispositif sur site, qu'il respecte les exigences qui lui sont assignées ;
- la suffisance des dispositions de maintenance prévues pour le dispositif.

## 2. SYNTHÈSE DE L'ANALYSE DE L'IRSN

### Exigences à respecter

Le dispositif d'étanchéité fait partie des équipements nécessaires en situation d'AG déployés lors des quatrièmes visites décennales des réacteurs du CNPE du Bugey. Les exigences de sûreté définies par EDF sont les suivantes :

- la tenue aux conditions normales d'ambiance en exploitation ;
- la tenue aux conditions d'ambiance accidentelles et en accident grave ;
- l'intégrité du dispositif vis-à-vis des déplacements différentiels entre la cuve et la piscine du bâtiment réacteur lors de la montée en pression et température du circuit primaire ;
- la tenue sismique et l'intégrité après un séisme de niveau SND.

Au titre des exigences fonctionnelles, le dispositif doit :

- être étanche à une lame d'eau présente en fond de piscine du réacteur ainsi qu'à l'eau provenant du système d'aspersion dans l'enceinte ;
- être aisément démontable.

**L'IRSN n'a pas de remarque sur les exigences définies par EDF qui, si elles sont respectées, permettent de garantir que le dispositif d'étanchéité remplira son rôle de maintien à sec du puits de cuve.**

### Conditions d'ambiance liées à la température

Les différentes conditions de température auxquelles est soumis le dispositif durant le fonctionnement normal du réacteur et en phase accidentelle ont un impact important sur la conception du dispositif. Du fait de la proximité du dispositif avec la cuve et des conditions élevées de température, et considérant les modifications de conception découlant de ces contraintes thermiques, l'IRSN a porté une attention particulière aux profils de température définis par EDF dans les situations de fonctionnement normal et accidentelles. Ces profils de température sont désormais basés sur des calculs spécifiques de mécanique des fluides et de thermique donnant une estimation de la température dans la zone de pose du dispositif d'étanchéité, confortés par des mesures *in situ* pour les situations normales d'exploitation. **L'IRSN estime que les températures retenues par EDF sont acceptables.**

---

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Le séisme noyau dur (SND) correspond au niveau de séisme à retenir pour l'étude du comportement des éléments du noyau dur défini au terme de l'analyse du retour d'expérience de l'accident de Fukushima Dai-ichi. Il doit notamment être enveloppe du SMS de site majoré de 50% ainsi que des spectres de site définis de manière probabiliste avec une période de retour de 20 000 ans.

## **Respect des exigences dans les conditions normales d'exploitation et en situations accidentelles et d'accident grave**

Les conclusions de l'analyse de l'IRSN concernant le respect des exigences d'étanchéité du dispositif à une lame d'eau ainsi que vis-à-vis de l'aspersion de l'enceinte dans les conditions normales d'exploitation et en situations accidentelles et d'accident grave sont présentées ci-après.

L'étanchéité à la lame d'eau est assurée par l'ensemble constitué du double anneau, des manchettes tubulaires souples en acier inoxydable et des joints compressés (par le poids du calorifuge de la cuve pour le joint interne en graphite et par des étriers anti-envol pour le joint externe en silicone).

En situation accidentelle, l'espace libre entre les deux anneaux est protégé de l'eau provenant du système EAS par l'anneau de protection biologique situé juste au-dessus et qui joue le rôle de parapluie. La récupération et l'évacuation des fuites de la tresse en graphite sont assurées par une goulotte et une tuyauterie du système RPE. Ces fuites cheminent gravitairement jusqu'au puisard central situé en partie basse du bâtiment réacteur. Par ailleurs, l'étanchéité du joint interne a été vérifiée par des essais réalisés sur une maquette représentative de l'anneau et des joints. Ces essais ont également permis de déterminer les couples de serrage à appliquer aux étriers anti-envol pour obtenir un système étanche au niveau du joint en silicone. Le joint en silicone est qualifié aux profils de température en fonctionnement normal et en conditions accidentelles et le couple de serrage des étriers anti-envol au niveau de cet anneau est suffisant. Ceci est satisfaisant.

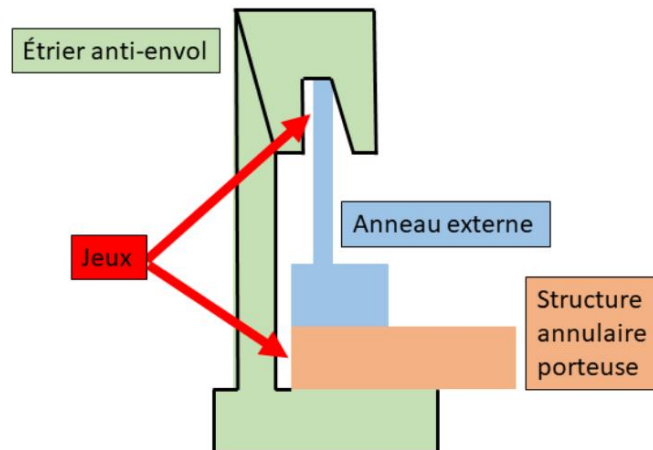
Par ailleurs, l'IRSN considère que l'utilisation de joints en graphite pour l'anneau interne est pertinente au regard des conditions de températures auxquelles ils sont exposés. Les débits de fuite de la tresse en graphite sous l'anneau interne ont été évalués par des essais réalisés sur maquette à température ambiante, en conditions de fonctionnement normal, et à des conditions de températures représentatives d'un accident grave. Les débits observés lors de ces essais sont inférieurs au débit maximum évacuable par la goulotte et la tuyauterie du système RPE, ce qui est satisfaisant.

L'IRSN estime que l'utilisation de manchettes souples en acier inoxydable, résistantes aux contraintes thermiques et autorisant le déplacement relatif des deux anneaux, pour permettre l'écoulement de l'eau de ruissellement accumulée du côté de la cuve vers la piscine BR, est pertinente.

En ce qui concerne la protection contre l'eau d'aspersion que doit apporter l'anneau de protection biologique, l'analyse de l'IRSN a mis en évidence l'existence de chemins de fuite potentiels vers le puits de cuve liés à la conception et à l'assemblage des différentes parties de ce dispositif. Une modification sera réalisée par EDF pour supprimer ces chemins de fuite potentiels, ce que l'IRSN estime satisfaisant.

Par conception, la goulotte et la tuyauterie du système RPE, toutes deux nécessaires pour collecter et évacuer les fuites sous l'anneau interne, sont aptes à remplir leur fonction dans les conditions d'un accident grave. La fuite serait ainsi évacuée gravitairement vers le puisard central au fond du BR. Ce point n'appelle pas de remarque de l'IRSN.

Le dimensionnement mécanique des deux anneaux est satisfaisant, la démonstration de leur tenue aux contraintes thermiques est apportée. Cependant, l'IRSN a constaté que les effets de la dilatation thermique de l'anneau externe sur le dimensionnement des étriers anti-envol n'étaient pas pris en compte. Le schéma ci-dessous, représentant une vue en coupe de l'étrier anti-envol serrant l'anneau externe sur la structure annulaire porteuse, permet de visualiser les deux jeux susceptibles d'être comblés lors de la dilatation thermique de l'anneau externe : entre l'étrier anti-envol et l'anneau externe d'une part, et entre l'étrier anti-envol et la structure annulaire porteuse d'autre part. **L'IRSN a ainsi identifié le risque que la dilatation thermique de l'anneau externe comble les jeux existants et induise des déformations mécaniques pouvant se traduire par une perte d'étanchéité. Ce point fait l'objet de la recommandation présentée en annexe.**



### Robustesse du dispositif vis-à-vis d'un séisme de niveau SND

EDF a examiné le comportement sous séisme de niveau SND des différentes composantes du dispositif :

- l'analyse des contraintes dans l'anneau d'étanchéité montre qu'elles restent inférieures aux critères en vigueur en zone courante et dans les brides d'assemblage entre secteurs ;
- les étriers anti-envol qui maintiennent l'anneau externe et assurent l'étanchéité côté piscine ont été dimensionnés en prenant en compte l'effort maximum auquel ils sont soumis sous séisme de niveau SND ;
- la modélisation de l'anneau de protection biologique et de ses structures support conduit à évaluer un déplacement maximal inférieur au jeu existant avec le calorifuge. Les vérifications des singularités ne révèlent par ailleurs pas de dépassement de critères en contrainte.

L'ensemble des éléments présentés par EDF n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

EDF a transmis la vérification de la tenue sismique de la goulotte et la ligne RPE, qui sont nécessaires pour la récupération des fuites de la tresse en graphite sous l'anneau intérieur, pour le réacteur n° 5 du CNPE du Bugey. La vérification de leur tenue au séisme de niveau SND s'appuie sur le contrôle du pas de supportage et des supports, complété par des évaluations analytiques pour les zones non-contrôlables. En complément de cette vérification, EDF prévoit une action de maintenance sur les supports. Sur la base de ces éléments, l'IRSN considère que la démonstration de la tenue de la goulotte et de la ligne RPE à un séisme de niveau SND pour le réacteur n° 5 du BCNPE du Bugey est acceptable et rappelle qu'une démonstration similaire est attendue pour les autres réacteurs du CNPE du Bugey.

### Dispositions en exploitation et pertinence des critères permettant de vérifier le respect des exigences

EDF a pris l'engagement de transmettre l'analyse de risque liée au montage de l'anneau d'étanchéité avant le démarrage du réacteur n° 5 du CNPE du Bugey, qui sera le premier réacteur du CNPE équipé du dispositif d'étanchéification modifié, **ce qui est satisfaisant dans le principe**. En effet, la conception du dispositif implique un nombre conséquent de matériels et d'éléments boulonnés ainsi que des opérations de montage/dépose réalisées dans plusieurs zones du BR pouvant impacter les équipements et structures existants.

Concernant la gamme et le document de suivi d'intervention, ils ne font pas référence à ce stade au changement des matériaux du joint de la gorge interne, des joints inter-modules (côté batardeau intérieur) et des manchettes. **EDF s'est engagé à mettre à jour ces documents, ce qui est satisfaisant.**

Le contrôle de l'appui de la semelle inférieure de l'anneau sur la tresse en graphite présente dans la gorge interne n'étant pas envisageable une fois l'anneau d'étanchéité en place, l'IRSN estime qu'EDF devra préciser les exigences associées à la section de ce joint afin de garantir l'efficacité du dispositif ainsi que le respect du débit de fuite estimé par essai et *in fine* de la quantité d'eau susceptible d'être récupérée par le système de gestion des fuites. Sur ce point, EDF a pris l'engagement d'**ajouter une exigence en termes de dimensions et de tolérances géométriques de la tresse en graphite. Ce point n'appelle plus de remarque de la part de l'IRSN.**

Enfin, pour s'assurer de la pose correcte de la semelle inférieure de l'anneau sur la gorge extérieure en fond de piscine qui est équipée d'un joint à lèvres en silicone, EDF mesure le jeu entre ces deux éléments et utilise deux niveaux de critères selon la position de la mesure. L'IRSN a estimé que le critère le plus restrictif devait être vérifié sur les six positions des étriers anti-envol afin de garantir un bon écrasement du joint à lèvres, **ce à quoi EDF s'est engagé à l'issue de l'expertise.**

### 3. CONCLUSION

À l'issue de son expertise, l'IRSN considère que les exigences de sûreté et les exigences fonctionnelles retenues par EDF sont pertinentes et que le respect de ces exigences permet de garantir que le dispositif d'étanchéité remplira son rôle de maintien à sec du puits de cuve. En outre, EDF a globalement apporté les éléments permettant de justifier le respect de ces exigences.

Toutefois la démonstration de l'existence de jeux suffisants pour accommoder la dilatation thermique de l'anneau externe au niveau des étriers anti-envol et de la structure annulaire porteuse reste à apporter ; ceci fait l'objet d'une recommandation.

Enfin, les critères définis par EDF permettant de vérifier, après la pose du dispositif sur site, le respect des exigences qui lui sont assignées, sont pertinents et les dispositions de maintenance prévues pour le dispositif sont suffisantes.

**En conclusion, l'IRSN estime suffisante, du point de vue de la sûreté, la solution proposée par EDF pour maintenir à sec le puits de cuve des réacteurs du Bugey sous réserve de la prise en compte de la recommandation formulée en annexe.**

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté

## **ANNEXE A L'AVIS IRSN N° 2023-00073 DU 25 MAI 2023**

### **Recommandation de l'IRSN**

L'IRSN recommande qu'EDF garantisse l'existence de jeux suffisants, d'une part entre le système de bridage et l'anneau d'étanchéité externe et d'autre part entre le système de bridage et la structure annulaire porteuse en fond de piscine, afin de pouvoir reprendre la dilatation thermique radiale de l'anneau externe pour les différentes conditions de fonctionnement du réacteur et d'assurer ainsi le respect de l'exigence d'étanchéité.