

Fontenay-aux-Roses, le 20 janvier 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2023-00013

---

**Objet :** EDF – REP – Réacteurs de 900 Mwe – Tenue en service de la zone de coeur des cuves pendant la période de 10 ans suivant leur quatrième visite décennale  
**Risque de rupture brutale pour les cuves concernées par des défauts avérés pour les situations de fonctionnement de deuxième catégorie et du domaine complémentaire.**

---

**Réf. :** [1] Avis IRSN n° 2018-00295 du 8 novembre 2018.  
[2] Avis IRSN n° 2019-00221 du 2 octobre 2019.  
[3] Avis IRSN n° 2020-00099 du 26 juin 2020.  
[4] Lettre ASN – CODEP-DEP-2020-045660 du 7 décembre 2020.  
[5] Lettre ASN – CODEP-DEP-2019-046852 du 3 janvier 2020.  
[6] Saisine ASN – CODEP-DEP-2022-001829 du 27 avril 2022.

---

### Contexte et saisine

Dans le cadre de la poursuite de fonctionnement des réacteurs de 900 MWe, EDF a transmis un dossier de justification de la tenue en service des cuves de ces réacteurs pour la période de dix ans suivant leurs quatrièmes visites décennales. Ce dossier a fait l'objet d'expertises de l'IRSN ([1], [2], [3]) et a été présenté lors de trois réunions du Groupe permanent d'experts sur les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN) entre 2018 et 2020.

Sur la base des expertises de l'IRSN et des avis du GP ESPN, l'ASN considère, dans son courrier [4], que les études réalisées permettent de démontrer le respect des critères d'absence de risque de rupture brutale pour l'ensemble des cuves des réacteurs de 900 MWe ne comportant pas de défaut avéré<sup>1</sup> et pour l'ensemble des situations des différentes catégories de conditions de fonctionnement pendant la période de 10 ans après les quatrièmes visites décennales. Pour ces cuves, la démonstration de l'absence de risque de rupture brutale est faite en considérant un défaut générique<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Un défaut avéré (ou défaut détecté) est un défaut vu par les examens non destructifs (END) réalisés sur les cuves. Ces défauts sont notés et suivis lors des arrêts de réacteur pour visite décennale.

<sup>2</sup> Défaut générique : un défaut hypothétique est retenu pour couvrir d'éventuels défauts dans la cuve non détectés par les contrôles mis en place. Ce défaut est postulé dans les endroits les plus pénalisants de la cuve (virole de cœur et joint soudé).

Pour la cuve du réacteur n° 1 de la centrale nucléaire du Tricastin, concernée par la présence de défauts avérés, dans son courrier [5], compte tenu des facteurs de marges élevés obtenus pour l'évaluation de la tenue à la rupture brutale, l'ASN a considéré que l'aptitude au service de la zone de cœur de cette cuve est démontrée pour la période de dix ans suivant sa quatrième visite décennale.

En ce qui concerne les autres cuves affectées par des défauts avérés, à savoir celles des réacteurs n° 2 de la centrale nucléaire du Blayais, n° 5 de la centrale nucléaire du Bugey, n° 1 et 2 de la centrale nucléaire de Saint Laurent B, l'ASN considère que le respect des critères d'absence de risque de rupture brutale est démontré en cas de situations pénalisantes de troisième et de quatrième catégories. En revanche, en 2020, le dossier d'EDF était incomplet et ne permettait pas de statuer sur l'absence de risque de rupture brutale de ces cuves pour les transitoires découplés<sup>3</sup> enveloppes de deuxième catégorie et du domaine complémentaire<sup>4</sup>.

Des études complémentaires, pour ces situations, ont depuis été transmises par EDF. Dans sa saisine [6], l'ASN a sollicité l'IRSN pour statuer sur la suffisance de ces études, afin de justifier l'absence de risque de rupture brutale des cuves affectées par les défauts avérés pour l'ensemble des catégories des situations, en particulier vis-à-vis de la méthode mise en œuvre, des données considérées et des résultats obtenus.

### Éléments transmis par EDF

L'analyse du risque de rupture brutale consiste à comparer la valeur du facteur d'intensité de contrainte établie au niveau du défaut, à la ténacité du matériau. Le facteur de marge vis-à-vis du risque de rupture brutale est défini comme le rapport entre la ténacité du matériau et le facteur d'intensité de contrainte. L'absence de risque de rupture brutale associé à un défaut plan est démontrée si le facteur de marge est supérieur à 1.

Le facteur d'intensité de contrainte caractérise le niveau de sollicitation subi par le défaut. Il est calculé en fonction des différents chargements thermomécaniques, des caractéristiques thermomécaniques du matériau et des dimensions du défaut plan considéré. La ténacité du matériau caractérise sa capacité à résister à la propagation d'une fissure. Elle dépend de l'état de vieillissement du matériau qui est fonction du niveau d'irradiation subie par la cuve.

Pour l'analyse des situations de deuxième catégorie, EDF a réalisé des calculs du facteur d'intensité de contrainte sans application des coefficients de sécurité réglementaires requis au titre de l'arrêté du 10/11/99 relatif à la surveillance de l'exploitation du circuit primaire principal et des circuits secondaires principaux des réacteurs nucléaires à eau sous pression. Le facteur de marge ainsi obtenu est ensuite comparé à la valeur de 2, qui est le coefficient de sécurité exigé pour les situations de deuxième catégorie. Quant à l'étude des situations du domaine complémentaire, EDF a retenu les coefficients de sécurité requis pour la quatrième catégorie. Ces derniers sont directement appliqués sur les chargements. Ainsi, les facteurs de marge calculés pour ces situations du domaine complémentaire doivent rester supérieurs à 1.

Les caractéristiques des matériaux sont évaluées à partir de la formule de ténacité minimale de l'annexe ZG du code RCC-M<sup>5</sup>. Les effets de vieillissement sous irradiation des cuves pour une durée de fonctionnement jusqu'à dix ans après la quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe sont pris en compte.

Les défauts analysés par EDF sont les défauts sous revêtement détectés dans les cuves des réacteurs n° 2 du Blayais, n° 1 et n° 2 de Saint Laurent B et le défaut technologique de soudage enfouis dans un joint soudé circulaire de la cuve du réacteur n° 5 du Bugey. Les dimensions des défauts analysés sont issues des examens

---

<sup>3</sup> Un transitoire découplé est construit de manière à envelopper plusieurs situations physiques possibles.

<sup>4</sup> Le domaine complémentaire du rapport de sûreté est constitué de situations postulées pour lesquelles EDF a défini des dispositions complémentaires, qui permettent de ramener à un niveau acceptable les conséquences d'autres initiateurs que ceux pris en compte dans le dimensionnement conventionnel de base, et qui peuvent inclure des défaillances multiples. Les initiateurs retenus, issus des études probabilistes de sûreté, sont ceux présentant un risque de fusion du cœur. Dans leur étude, la cuve est supposée intègre.

<sup>5</sup> Code relatif aux règles de conception et de construction des matériels mécaniques des îlots nucléaires des REP.

non destructifs réalisés lors des arrêts de troisième visite décennale. L'analyse est également effectuée pour le défaut cumulé<sup>6</sup> enveloppe détecté pour la cuve du réacteur n° 1 du Tricastin en considérant les dimensions des défauts caractérisés lors des examens non destructifs de la quatrième visite décennale.

Pour l'analyse des défauts avérés dans les joints soudés, EDF considère un niveau de contraintes résiduelles de 70 MPa à l'interface entre l'acier ferritique de la cuve et le revêtement en acier inoxydable austénitique.

L'analyse du défaut enveloppe de la cuve du réacteur n° 1 du Tricastin s'appuie sur des calculs tridimensionnels élastoplastiques. L'analyse de nocivité des autres défauts détectés s'appuie sur l'application de la méthode simplifiée du code RSE-M<sup>7</sup>.

Pour le transitoire découplé enveloppe de deuxième catégorie, les analyses ont conduit à des facteurs de marge minimaux supérieurs au coefficient de sécurité de 2 pour l'ensemble des défauts analysés. De même, pour les transitoires découplés enveloppes du domaine complémentaire, les facteurs de marge sont supérieurs à 1 pour l'ensemble des défauts analysés.

Ces résultats permettent à EDF de conclure à l'absence de risque de rupture brutale en présence de défauts détectés dans les viroles de cœur des cuves des réacteurs de 900 MWe lors des transitoires enveloppes de deuxième catégorie et du domaine complémentaire.

### Avis de l'IRSN

L'IRSN a examiné la méthodologie ainsi que les différentes hypothèses retenues par EDF pour l'analyse du risque de rupture brutale des défauts détectés sur les cuves des réacteurs de 900 MWe pour les transitoires découplés de 2<sup>e</sup> catégorie et du domaine complémentaire.

La méthodologie d'analyse du risque de rupture brutale, qui s'appuie soit sur la méthode codifiée du RSE-M, soit sur les calculs aux éléments finis tridimensionnels, en considérant un comportement élastoplastique des matériaux, est identique à celle déjà expertisée par l'IRSN entre 2018 et 2020. Elle n'appelle pas de commentaire.

Concernant les dimensions des défauts retenus, il s'agit des dimensions issues des contrôles réalisés lors des troisièmes visites décennales. Lors des arrêts pour quatrième visite décennale des réacteurs de 900 MWe, la zone de cœur de la cuve est à nouveau contrôlée. Une démonstration d'absence d'évolution des défauts détectés et une mise à jour éventuel des évaluations du risque de rupture brutale seront réalisées en fonction des résultats de ces contrôles. Cette démarche a été mise en œuvre pour la cuve du réacteur n° 1 du Tricastin à la suite de la quatrième visite décennale de ce réacteur. Cette démarche de vérification a posteriori est historique et n'appelle pas de remarque de l'IRSN.

Concernant les caractéristiques des matériaux de la cuve à l'état vieilli, elles sont évaluées à partir de la formule de fragilisation enveloppe et des estimations de fluence reçues par les cuves pour un fonctionnement de 10 ans après les VD4. La démarche appliquée, identique à celle retenue dans les dossiers expertisés par l'IRSN entre 2018 et 2020, n'appelle pas de remarque

Concernant les chargements, l'analyse des éléments complémentaires transmis par EDF permet de conclure que les caractérisations thermohydrauliques (évolution temporelle de la température du fluide, de la pression et du débit) retenues pour les transitoires découplés à étudier sont conformes à celles retenues à l'issue la précédente expertise [3] et n'appellent donc pas de remarque de la part de l'IRSN.

---

<sup>6</sup> Défaut cumulé : lorsque les défauts sont suffisamment proches conduisant à un risque d'interaction entre ces derniers, le code relatif aux règles de surveillance en exploitation des matériels mécaniques des îlots nucléaires des REP (RSE-M) spécifie une méthodologie pour regrouper ces défauts en un défaut enveloppe dit « défaut cumulé ».

<sup>7</sup> Règles de surveillance en exploitation des matériels mécaniques des îlots nucléaires des REP - Annexe 5.4 : « Méthodes analytiques de calcul des facteurs d'intensité de contrainte et de l'intégrale J ».

La valeur de contrainte résiduelle de 70 MPa retenue à l'interface du métal de base et du revêtement est jugée acceptable, notamment au vu des pratiques codifiées à l'international. Toutefois, l'IRSN rappelle que dans le cadre de l'expertise de l'IRSN en 2020 [3], EDF s'est engagé à réaliser un programme de mesures des contraintes résiduelles sur une maquette représentative des joints soudés des cuves de 900 MWe afin de consolider cette valeur.

Les analyses par la méthode simplifiée codifiée du RSE-M ont conduit à la vérification des critères d'absence de risque de rupture brutale pour l'ensemble des défauts détectés sur les cuves des réacteurs n° 2 du Blayais, n° 5 du Bugey, n° 1 et n° 2 de Saint Laurent B lors des transitoires découplés enveloppes de deuxième catégorie et du domaine complémentaire. Il en est de même pour le défaut cumulé enveloppe détecté sur la cuve du réacteur n° 1 du Tricastin lors du transitoire de deuxième catégorie. Pour ce même défaut, une analyse par calcul 3D élastoplastique a été réalisée et permet de conclure à la vérification des critères pour les transitoires enveloppes du domaine complémentaire.

### **Conclusion**

**En conclusion, les éléments transmis par EDF permettent de justifier l'absence de risque de rupture brutale pour l'ensemble des cuves des réacteurs de 900 MWe concernées par des défauts avérés pour les transitoires découplés enveloppes de deuxième catégorie et du domaine complémentaire, et de lever la réserve émise par l'IRSN dans son avis de 2020.**

### **IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté