



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

**IRSN**  
INSTITUT DE RADIOPROTECTION  
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 18 juillet 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2022-00150

---

<b>Objet :</b>	<b>EDF – REP – INB 167 – Réacteur EPR de Flamanville</b> <b>Examen du dossier de transposition des essais relatifs au comportement vibratoire des internes de cuve prévus uniquement sur la tête de série EPR.</b>
<b>Réf. :</b>	[1] Lettre ASN - CODEP-DCN-2021-011840 du 5 mars 2021 : « Flamanville 3, réacteur de type EPR (INB 167), Instruction du dossier de transposition des essais relatifs au comportement vibratoire des internes de cuve prévus uniquement sur la tête de série EPR ». [2] Avis IRSN - 2016-00318 du 5 octobre 2016 : « Transposabilité et suffisance des essais relatifs au comportement vibratoire des internes de cuve prévu uniquement sur la tête de série EPR ».

---

Dans le cadre de l'instruction du dossier de transposition des essais relatifs au comportement vibratoire des internes de cuve prévus uniquement sur la tête de série EPR (TTS EPR), l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé, par la lettre citée en référence [1], à l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) son avis sur le dossier transmis par Électricité de France (EDF) concernant la transposition des résultats des essais de comportement vibratoire des internes de cuve de la TTS EPR au cas du réacteur n° 3 de la centrale nucléaire de Flamanville (EPR FA3). L'ASN a également demandé l'avis de l'IRSN sur les résultats d'essais complémentaires menés sur EPR FA3.

De l'évaluation des documents transmis, l'IRSN retient les éléments suivants.

La maîtrise des déformations des internes de cuve d'un réacteur nucléaire, tant sous l'effet des contraintes thermiques que vibratoires, est nécessaire en particulier pour maintenir une géométrie du cœur qui permette son refroidissement et l'insertion des grappes de commande. Ainsi, il est important de souligner l'intérêt pour la sûreté des mesures de vibrations effectuées lors du programme d'essais pré-opérationnels du comportement vibratoire des internes de cuve. Ces mesures permettent en effet de détecter d'éventuelles anomalies de conception, de fabrication et de montage et d'identifier des phénomènes de résonance et de cavitation pouvant dégrader significativement les équipements. Il est alors possible de traiter, avant la mise en service industrielle de l'installation, les éventuels problèmes de vibrations excessives qui peuvent conduire à un risque d'usure ou un risque de fissuration et de rupture par fatigue.

MEMBRE DE  
**ETSON**

L'architecture générale des internes de cuve des réacteurs de type EPR (cf. figure en annexe) dérive de celle des paliers à quatre boucles. Malgré trois évolutions importantes relatives :

- à la conception du guide de grappe qui dérive de celle du réacteur de type Konvoi<sup>1</sup> ;
- au remplacement du cloisonnement par un réflecteur lourd ;
- à l'instrumentation du cœur introduite par le couvercle de cuve ;

le comportement vibratoire des internes de cuve des réacteurs de type EPR est attendu globalement très proche de celui des internes des réacteurs à quatre boucles en exploitation (réacteurs français de 1300 MWe et 1450 MWe).

Pour s'assurer de la maîtrise du comportement vibratoire des internes de cuve de l'EPR, EDF s'appuie sur les recommandations du Regulatory Guide 1.20 (RG-1.20) de la Nuclear Regulatory Commission (NRC) qui expose la démarche à suivre :

- 1) la réalisation d'un programme d'analyse des vibrations afin de prédire le comportement vibratoire des internes de cuve dans toutes les situations ;
- 2) la réalisation d'un programme de mesures des vibrations afin de valider *in situ* le comportement prévu en conclusion du programme d'analyse des vibrations ;
- 3) la réalisation d'un programme d'inspection afin de vérifier qu'aucun désordre « visible » n'est apparu pendant les essais pré-opérationnels.

Ces trois phases ont été réalisées pour les internes de cuve de la TTS EPR, le réacteur n° 1 de la centrale nucléaire de Taishan (TSN1), et pour les internes de cuve du réacteur n° 3 de la centrale nucléaire d'Olkiluoto (OL3). Ainsi, ces deux réacteurs peuvent être considérés comme des « prototypes valides » au sens du RG-1.20 puisqu'ils ont fait l'objet d'un programme complet de validation des internes de cuve.

Par ailleurs, dans le cadre du Multinational Design Evaluation Programme (MDEP<sup>2</sup>), une position commune relative aux « First Plant Only Tests » (FPOT) a été élaborée en avril 2018. Celle-ci fixe le cadre pour valoriser des essais réalisés sur le premier réacteur du palier et les transposer à d'autres réacteurs de ce même palier situés dans d'autres pays.

La validation du comportement vibratoire des internes de cuve des réacteurs de type EPR s'appuie alors sur deux programmes complets de validation des internes de cuve réalisés sur TSN1 et sur OL3, ainsi qu'un programme partiel (instrumentation de deux guides de grappe (GDG) et des internes supérieurs suivi d'une inspection visuelle complète) réalisé sur FA3.

Pour ce qui concerne l'instrumentation mise en place pour la réalisation des essais à TSN1 et OL3, l'IRSN note qu'elle est plus complète que celle mise en œuvre lors des essais vibratoires réalisés sur le réacteur n° 1 de la centrale nucléaire de Paluel (PAL1, dernier réacteur du parc français en exploitation à avoir réalisé un programme complet de validation du comportement des internes de cuve). Certains capteurs sont utilisés pour mesurer le jeu entre le réflecteur lourd et l'enveloppe de cœur, d'autres permettent la mesure de grandeurs physiques (accélérations, fréquences, déformations...) similaires entre TSN1 et PAL1. Bien que les internes inférieurs de PAL1 ne possèdent pas de réflecteur lourd, leur réponse vibratoire est essentiellement pilotée par un mode global de flexion de poutre, et **l'analyse comparative de la réponse vibratoire des internes de cuve de TSN1 et PAL1 indique des résultats d'essai similaires.**

---

<sup>1</sup> Le « Konvoi » est un modèle de réacteur nucléaire à eau pressurisée (REP) construit principalement en Allemagne.

<sup>2</sup> Ce programme, mené avec l'appui de l'agence de l'énergie nucléaire de l'OCDE, vise à permettre aux Autorités de sûreté nucléaire de différents pays de partager leur analyse de sûreté concernant un même type de réacteur.

L'instrumentation mise en œuvre pour la mesure du comportement vibratoire des internes de cuve des réacteurs de type EPR est satisfaisante et tient compte de leurs spécificités (jeu entre le réflecteur lourd et l'enveloppe de cœur, maintien de l'anneau de calage antivibratoire des internes de cuve...). Ainsi, cette instrumentation mise en place à TSN1 et OL3 est adaptée pour vérifier le comportement attendu des internes de cuve du point de vue des vibrations induites par l'écoulement, au cours des essais pré-opérationnels.

Certains transitoires peuvent toutefois modifier temporairement le comportement vibratoire des internes de cuve. Aussi diverses configurations de fonctionnement des groupes motopompes primaires (GMPP) ont été testées, modifiant ainsi les vitesses d'écoulement autour des internes de cuve. **Aucun comportement vibratoire singulier n'a été observé.**

Lors des essais pré-opérationnels à TSN1, les amplitudes vibratoires mesurées au niveau des guides de grappe (GDG) ont été significativement supérieures aux prévisions. La réponse des GDG est en effet influencée par la masse additionnelle apportée par l'instrumentation qui diminue la fréquence du premier mode de flexion des GDG instrumentés. Cette diminution de fréquence favorise une entrée en résonance avec la fréquence de rotation du GMPP. Pour confirmer cette hypothèse, une campagne d'essai spécifique a donc été menée par le constructeur afin de caractériser de manière expérimentale l'effet de l'instrumentation temporaire sur la fréquence du premier mode de flexion des GDG. Une instrumentation plus légère que celle de TSN1 a été installée, d'une part sur les internes supérieurs de cuve de EPR FA3, d'autre part sur deux GDG. **Les résultats des essais menés sur EPR FA3 obtenus pour les internes supérieurs (hors GDG) sont cohérents avec ceux obtenus sur TSN1 et OL3 ; les résultats obtenus sur les GDG permettent de valider leur bon comportement vibratoire.**

Concernant le comportement vibratoire des internes inférieurs, les vibrations induites par les écoulements sont principalement dominées par le premier mode de flexion de l'enveloppe du cœur. Les amplitudes de déplacement mesurées demeurent dans la gamme du retour d'expérience français (i.e. valeurs mesurées sur les réacteurs de type 900 MWe, 1300 MWe et 1450 MWe). Les autres modes des internes inférieurs (p.ex. les modes de coque de l'enveloppe du cœur et du réflecteur lourd) ne sont pas significativement excités. **Aucun risque de vibration importante ne concerne le distributeur de débit en raison de ses fréquences propres élevées.**

Concernant le comportement vibratoire des internes supérieurs, leur réponse est pilotée par le mode de flexion des internes inférieurs en raison du couplage entre eux, d'une part au niveau de la plaque supérieure du cœur via les broches de guidage, d'autre part au niveau de la bride de l'ensemble support supérieur, en interface avec l'anneau de calage. **Aucune vibration significative n'est relevée.**

Les amplitudes vibratoires et les déformations mesurées sur les internes de cuve sont conformes aux niveaux attendus. Les écarts entre les valeurs issues du programme d'analyse et celles mesurées lors des essais ont été analysés. Les programmes de mesures des vibrations et d'inspection valident le comportement vibratoire des équipements internes de l'EPR du point de vue de la sûreté de fonctionnement et n'ont pas d'impact sur les résultats présentés dans le dossier d'analyse du comportement (DAC) des internes de cuve. **Le risque d'usure significatif des guides de grappe peut être écarté, compte tenu des niveaux vibratoires faibles et de la similarité de ces niveaux vibratoires avec ceux du parc nucléaire actuel qui ne présente pas de REX négatif.**

Les inspections visuelles menées sur les trois réacteurs EPR (TSN1, OL3 et FA3) au titre du programme de validation du comportement vibratoire des équipements internes de cuve n'ont pas relevé d'indication d'un comportement vibratoire anormal, **ce qui permet d'écarter le risque de comportement instable.** La durée d'essai effective en conditions à chaud avec les quatre GMPP en service est supérieure à 600 heures. Si l'on tient compte du temps passé avec les quatre GMPP en service pour des conditions de température différentes (essai fonctionnel à froid, etc.), cette durée dépasse les 2 000 heures. Le programme d'essais couvre donc plus de  $10^6$  cycles de vibration (valeur recommandée selon le RG-1.20 § 2.2.2 b) pour tous les composants critiques. **Le risque de fatigue vibratoire à grand nombre de cycles peut donc être écarté.**

Le déroulement du programme de validation du comportement vibratoire est satisfaisant et aucun comportement vibratoire défavorable des internes de cuve n'a été constaté au début de l'exploitation de TSN1.

**Les internes de cuve de la tête de série du palier EPR peuvent être classés comme « prototype valide » conformément aux recommandations du RG-1.20.**

Une fois qu'une configuration d'internes de cuve est définie comme un « prototype valide », le RG-1.20 distingue plusieurs catégories d'internes de cuve « non-prototype », suivant leur degré de similitude avec les internes de cuve « prototype » de référence. Pour classer les internes de cuve de l'EPR FA3 en « non-prototype, catégorie I », l'exploitant doit montrer par analyse ou essai que les différences de conception par rapport au « prototype valide » n'ont pas d'effet significatif sur la réponse vibratoire ou l'excitation des internes de cuve. La seule différence de conception notable identifiée entre les internes de cuve des EPR TSN1 et de FA3 porte sur le jeu radial entre le réflecteur lourd et l'enveloppe de cœur qui est plus important sur TSN1. Les conditions de fonctionnement de chaque réacteur sont analogues : les températures de fonctionnement sont très voisines avec un écart de l'ordre de 1 à 2 °C, les débits primaires sont identiques avec un écart inférieur à 1 %. **Les résultats des essais pré-opérationnels montrent que cette différence entre les jeux radiaux des EPR FA3 et de TSN1 n'a pas d'effet significatif sur la réponse vibratoire globale.**

Par ailleurs, conformément à la position commune relative aux FPOT pour valoriser les résultats des essais pré-opérationnels des internes de cuve de la TTS EPR à FA3, EDF a :

- réalisé des missions d'observation à TSN1. Elles ont permis de suivre l'installation des capteurs avant l'exécution des essais pré-opérationnels, les tests des capteurs installés avant les essais, les mesures effectuées pendant les essais, les inspections visuelles et les tests sur les capteurs des internes supérieurs à la suite des essais ;
- assisté au programme d'essais et a participé à une inspection conjointe avec le constructeur supervisant les FPOT ;
- sollicité une entité indépendante d'experts afin d'analyser tous les aspects du programme d'essais, qui a conclu que les niveaux vibratoires mesurés sont conformes aux attentes et que le programme d'inspection ne montre aucun phénomène vibratoire anormal.

Le respect des exigences définies dans la position commune relative aux FPOT et les résultats satisfaisants des essais pré-opérationnels confirment donc **la possibilité de transposer le comportement vibratoire des internes de cuve de l'EPR TSN1 à l'EPR FA3.**

En conséquence, **les internes de cuve de l'EPR FA3 peuvent être classés comme « non-prototype catégorie I » conformément aux recommandations du RG-1.20.**

**La cohérence des résultats des essais pré-opérationnels obtenus sur les EPR TSN1, OL3 et FA3, la comparaison de ces mesures à celles réalisées sur PAL1 et le REX du parc actuel, permettent d'établir que le comportement vibratoire des internes de cuve des réacteurs de type EPR est conforme aux attentes.**

**Néanmoins, il conviendra qu'EDF confirme le bon comportement des internes de cuve, une fois le cœur de FA3 chargé dans la cuve, et vérifie le temps de chute des grappes avec un débit nominal dans chaque boucle du circuit primaire.**

**IRSN**

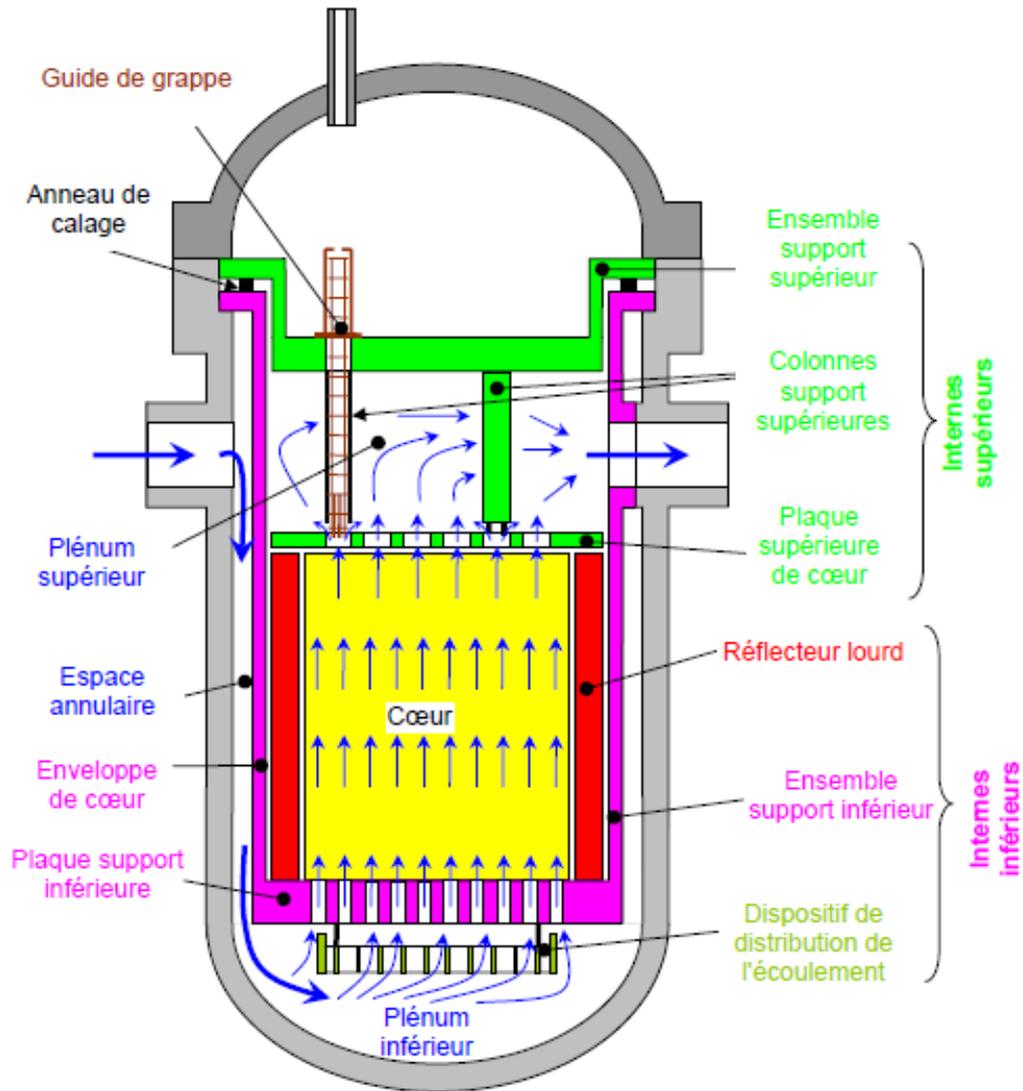
Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

## ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2022-00150 DU 18 JUILLET 2022



*Architecture des internes de cuve de l'EPR.*