



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité

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

Fontenay-aux-Roses, le 7 juillet 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

## AVIS IRSN N° 2022-00142

---

**Objet :** EDF – REP – Réacteur n° 3 de Flamanville – INB 167  
**Analyse de l'étude des causes et conséquences des vibrations affectant les groupes motopompes primaires.**

---

**Réf. :** Lettre ASN - CODEP-DCN-2022-022499 du 11 mai 2022.

---

Les groupes motopompes primaires (GMPP) servent principalement à assurer la circulation du fluide primaire dans les boucles primaires. Sur chacune des quatre boucles du réacteur EPR de Flamanville (EPR FA3), un GMPP est situé entre la sortie du générateur de vapeur et l'entrée de la cuve en branche froide. Les GMPP servent également à chauffer le fluide primaire lors des phases de démarrage et participent aussi à l'intégrité de la seconde barrière de confinement. Un GMPP est constitué d'une partie moteur et d'une partie hydraulique, reliées par la ligne d'arbre (cf. figure 1).

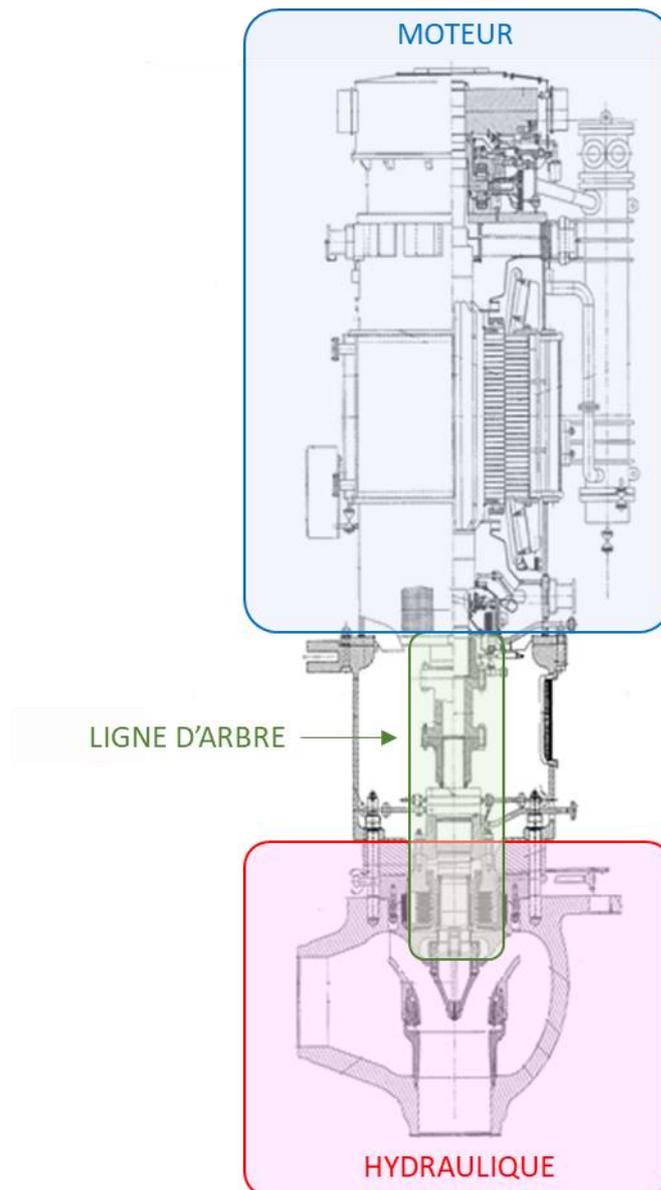
Lors de la deuxième phase des essais à chaud (EAC2) de l'EPR FA3, réalisés en préalable au futur démarrage du réacteur, EDF a constaté un phénomène vibratoire global à fluctuation lente avec une période de l'ordre de 30 minutes au niveau des GMPP. Ces vibrations inattendues, par rapport à ce qui est habituellement rencontré sur le parc, sont présentes sur le GMPP n° 3 lors des transitoires de démarrage et d'arrêt du réacteur, alors que sur les trois autres GMPP, elles ne se produisent que lors de l'arrêt de l'injection aux joints des GMPP.

L'ASN a demandé à l'IRSN par la lettre en référence d'analyser le dossier transmis par EDF, afin de vérifier l'absence d'impact de ces vibrations sur la sûreté du réacteur.

### DESCRIPTION DU PHÉNOMÈNE

Les vibrations des machines tournantes peuvent induire des dégradations par fatigue des machines ou des tuyauteries connectées. Un phénomène d'usure des paliers peut aussi être redouté. Dans ce cadre, lors des EAC2, les vibrations de l'arbre de chaque GMPP sont enregistrées sous forme d'amplitude des déplacements radiaux au niveau du manchon moteur et de l'accouplement moteur. Les mesures sont comparées à des critères. Le critère d'alarme en vibration est une amplitude des déplacements limitée à 50 µm crête-à-crête et le critère d'arrêt est de 75 µm crête-à-crête. Ces seuils sont fixés dans les documents d'exploitation et de maintenance d'EDF, afin de limiter la fatigue vibratoire du GMPP et du circuit primaire. Au niveau de l'accouplement moteur, le critère d'alarme en déplacement est de 200 µm crête-à-crête et le critère d'arrêt est de 380 µm crête-à-crête. Ces derniers seuils sont fixés afin de prévenir des frottements au niveau des paliers.

MEMBRE DE  
**ETSON**



**Figure 1 : Schéma d'un GMPP**

Pour l'EPR FA3, le GMPP n° 3 a respecté les critères en vibration, mais a dépassé le critère d'alarme en déplacement lors des transitoires de démarrage et d'arrêt du réacteur (passage entre l'arrêt à froid et l'arrêt à chaud), de manière temporaire et sans atteinte du critère d'arrêt. Sur les autres GMPP, ces phénomènes sont aussi apparus, mais uniquement lors des phases d'arrêt de l'injection aux joints des GMPP et sans atteindre les critères d'alarme. Ces phénomènes furent relevés systématiquement à la fréquence de 25 Hz, ce qui correspond à la vitesse de rotation des GMPP (1500 tr/min).

### **ANALYSE DES CAUSES**

Selon EDF, le comportement inattendu du GMPP pourrait être dû à un léger frottement entre le rotor et le stator créant un échauffement localisé sur le rotor. Cet échauffement provoque alors une flexion du rotor et modifie son équilibrage. Il en résulte un balourd « thermique » qui s'ajoute ou s'oppose au balourd mécanique. L'amplitude des vibrations, quant à elle, dépend de l'amortissement apporté par les paliers de guidage radiaux

et plus particulièrement par le palier auxiliaire hydrodynamique. Cet amortissement pourrait donc varier selon les conditions thermiques locales et donc notamment selon le débit d'injection au joint n° 1.

Afin de vérifier cette hypothèse, EDF a mené des essais sur une boucle d'essais comprenant un GMPP identique à ceux montés sur le réacteur EPR FA3. EDF n'a pas observé de fluctuation lorsque celui-ci était en fonctionnement normal. Pour EDF, le débit du GMPP et la fréquence de rotation de la pompe ne semblent pas avoir d'influence majeure sur le comportement vibratoire du GMPP. Lors de la coupure du débit d'injection aux joints, EDF a constaté l'apparition des fluctuations lorsque la température du primaire était supérieure à 276 °C : des déplacements sont apparus au niveau de la barrière thermique située au niveau du palier auxiliaire hydrodynamique. Ces déplacements sont corrélés avec la température de la barrière thermique. Lorsque la température de l'eau traversant la barrière thermique est à 10 °C, les déplacements cessent. Des déplacements peuvent également apparaître lorsque le débit d'injection aux joints n'est pas coupé et que le débit traversant la barrière thermique est faible. Enfin, EDF a constaté que l'augmentation du débit d'injection aux joints permettait de réduire les déplacements. Un examen visuel du palier auxiliaire hydrodynamique montre de légères traces de frottement sur la bague graphite supérieure. Toutefois, ces essais n'ont pas permis à EDF de conclure à l'apparition d'un frottement entre le rotor et le stator.

Pour EDF, ces résultats confirment la présence d'un balourd thermique au niveau du palier auxiliaire hydrodynamique. Par conséquent, EDF a modifié ce palier pour limiter les frottements et rendre homogène la température sur la hauteur et la circonférence de celui-ci. Cette modification n'a néanmoins pas permis de réduire l'amplitude des vibrations et les déplacements.

Par ailleurs, la variation de température dans les paliers guide moteur n'a pas eu d'influence sur le comportement du GMPP, ce qui, pour EDF, tend à démontrer que le moteur du GMPP n'est pas la cause des vibrations et déplacements excessifs.

## **CAUSES EXTERNES**

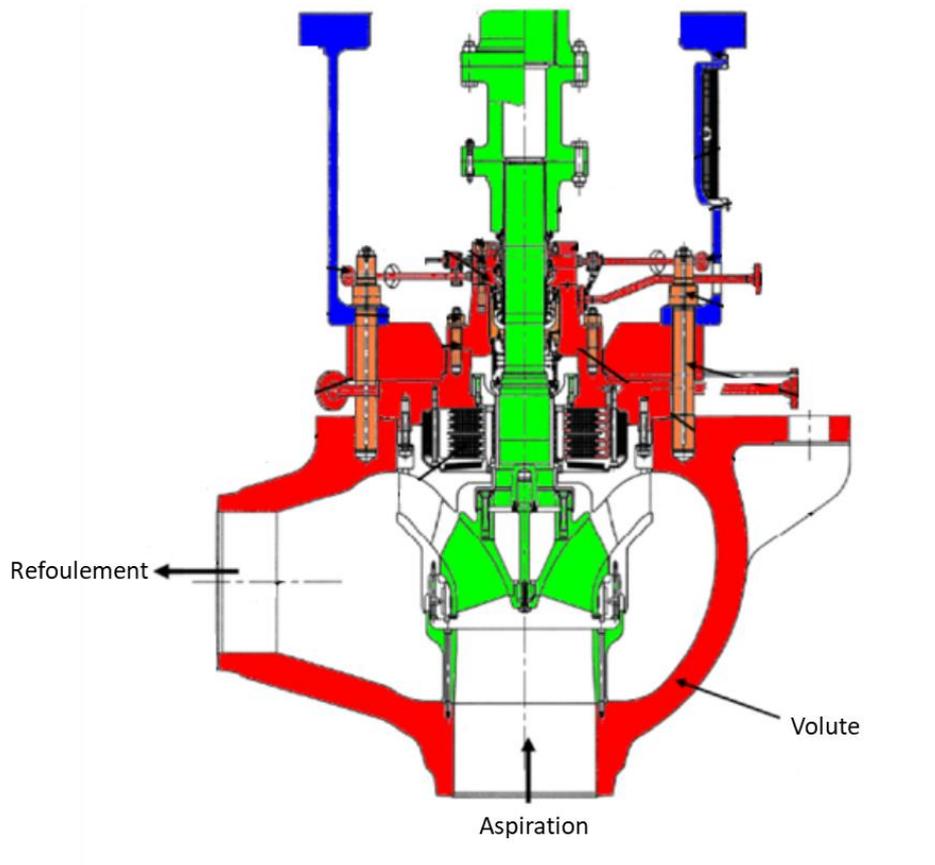
Selon EDF, le comportement inattendu des GMPP peut être dû à des interactions entre les GMPP et leur environnement ou avec les tuyauteries auxiliaires connectées. Un blocage de certains mouvements du GMPP peut alors contraindre la partie stator. Ce type de contraintes peuvent engendrer une augmentation de la pression de contact de la ligne d'arbre dans les paliers et faire apparaître ou aggraver un point chaud. EDF a fait une première recherche de ce type d'interactions avant les EAC2, ce qui n'a pas empêché les vibrations excessives du GMPP n° 3. Des supports des lignes connectées à la barrière thermique du GMPP n° 3 ont alors été partiellement desserrés afin de relaxer les efforts au niveau du GMPP ; ceci a permis de réduire l'amplitude des déplacements. Bien que les niveaux restent plus élevés que sur les autres GMPP, ils ne dépassent plus les critères d'alarme. Après les EAC2, EDF a vérifié l'absence de contact sur l'ensemble de la boucle n° 3.

Par rapport aux autres boucles primaires, la boucle n° 3 présente des spécificités de conception : la ligne d'expansion du pressuriseur du réacteur (LEP) y est connectée. De ce fait, EDF a étudié l'influence des variations de température au niveau de la LEP sur le comportement du GMPP n° 3 : les fluctuations de comportement du GMPP n° 3 ont perduré, même après stabilisation de la température au niveau de la LEP. De même, EDF a vérifié si un lien pouvait exister entre le comportement vibratoire anormal de la LEP et le comportement du GMPP n° 3. Les analyses montrent que les vibrations de la LEP sont essentiellement autour de 5 Hz et qu'il n'y a pas de mode autour de 25 Hz qui est la fréquence de rotation des GMPP. De plus, l'installation d'un système amortisseur sur la LEP n'a pas fait évoluer le comportement vibratoire du GMPP n° 3. EDF en conclut que la LEP n'a pas d'influence sur le comportement vibratoire du GMPP n° 3. Enfin, EDF a vérifié s'il y avait une corrélation entre le comportement inattendu du GMPP n° 3 et les fluctuations de pression du pressuriseur. Pour cela, EDF a stabilisé la pression du pressuriseur pendant plus d'une heure. Cette stabilisation n'a pas empêché le fonctionnement inattendu du GMPP n° 3. Pour EDF, il n'y a donc pas de lien entre les fluctuations du pressuriseur et les fluctuations vibratoires du GMPP.

En synthèse, l'analyse d'EDF a permis de supprimer le dépassement de critère vibratoire au niveau du GMPP n° 3 de l'EPR FA3, mais sans pour autant faire disparaître le phénomène.

### **ANALYSE D'IMPACT DES FLUCTUATIONS SUR LE GMPP**

Malgré la suppression du dépassement de critère vibratoire, EDF a poursuivi son analyse de l'impact éventuel des vibrations de l'arbre moteur d'un GMPP de l'EPR FA3 sur la sûreté. Les pièces en rouge (cf. Figure 2) font partie du circuit primaire principal (CPP). Les vibrations du GMPP engendrent une sollicitation en fatigue supplémentaire sur ces pièces. Aussi, EDF a réalisé un calcul de fatigue qui permet d'exclure un risque de fissuration par fatigue de ces pièces.



**Figure 2 : Schéma de la partie pompe et accouplement**

L'étanchéité à fuites contrôlées du système RCV<sup>1</sup> est assurée par le bloc joints. Celui-ci se situe au-dessus de la barrière thermique. Il est constitué de trois joints montés en série (Cf. Figure 3). Le « bloc-joints » permet de garantir l'étanchéité au niveau de l'arbre et d'empêcher une remontée d'eau provenant du circuit primaire.

Selon EDF, le joint n° 1 fonctionne avec un jeu entre l'élément flottant et l'élément tournant d'environ 10 µm et la pression de l'eau entre les deux éléments rend leur contact impossible. Ceci permet à EDF de conclure que ces variations de déplacement de l'arbre et ces niveaux vibratoires élevés n'auront pas d'impact sur ces éléments. En ce qui concerne la douille et de la bague de glissement, ce n'est le cas. Celles-ci peuvent en effet être endommagées par les déplacements de l'arbre.

<sup>1</sup> RCV : système de contrôle volumétrique et chimique.

Les joints n° 2 et n° 3 sont dit « *frottants* », ce qui signifie qu'il y a contact entre les différentes faces. Pour ces joints, les vibrations et déplacements de l'arbre entraînent donc des chargements supplémentaires. À la suite des EAC2, l'expertise du joint n° 2 du GMPP n° 3 a montré une usure plus importante qu'attendu. Pour EDF, ceci est dû aux vibrations plus importantes, mais aussi la conséquence du choix du fournisseur pour le matériau graphite. Toutefois, EDF précise que cette usure plus importante n'a pas d'impact sur la tenue du bloc-joints et donc sur la sûreté, mais uniquement sur la durée de vie du bloc-joints qui devra être changé plus fréquemment.

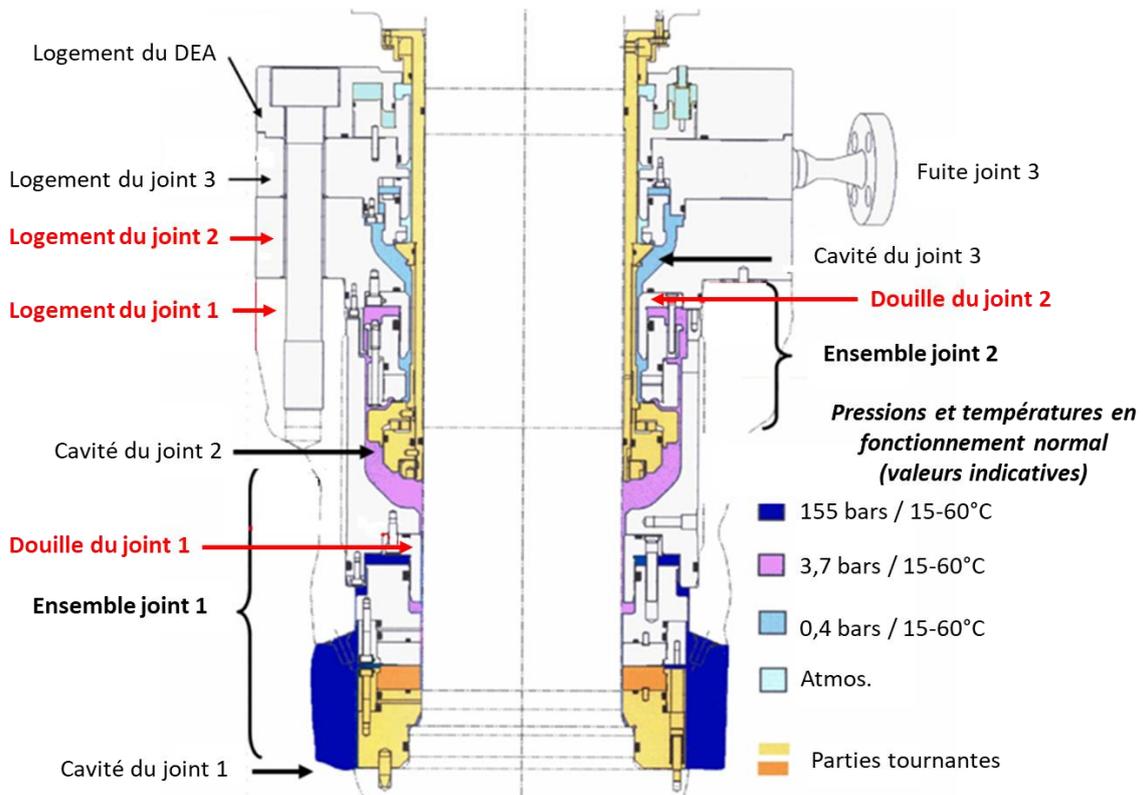


Figure 3 : Bloc-joints

Afin de vérifier, la stabilité structurelle du GMPP et la tenue des liaisons avec les interfaces physiques, ainsi que la tenue du guidage moteur, EDF s'est assuré que les accélérations générées par les vibrations des GMPP sont inférieures à celles générées en cas de séisme ou d'APRP<sup>2</sup>. Le dimensionnement des GMPP et de leurs supports couvre les chargements induits par les vibrations. De plus, l'analyse en fatigue du supportage des GMPP montre qu'il n'y a pas de risque de rupture. Pour EDF, ces éléments permettent de justifier que les vibrations excessives n'ont pas d'impact sur la stabilité du GMPP.

<sup>2</sup> APRP : Accident par perte de réfrigérant primaire.

## **IMPACT SUR LE CIRCUIT PRIMAIRE PRINCIPAL**

Les critères relatifs aux vibrations et déplacements retenus au niveau des GMPP par EDF permettent de limiter la propagation de vibrations nocives au circuit primaire principal. EDF précise avoir pris des critères de fonctionnement normal, d'alarme et d'arrêt plus sévères que ce que préconise la norme européenne.

EDF rappelle aussi que les critères retenus pour les GMPP de l'EPR FA3 sont identiques à ceux appliqués sur le parc en fonctionnement. Les niveaux vibratoires enregistrés y vérifient systématiquement les critères et n'ont pas engendré d'aléa sur le circuit primaire principal.

Ces éléments permettent à EDF de conclure à l'absence d'impact sur le circuit primaire principal.

## **MESURES PRÉVENTIVES**

EDF estime que les vibrations et déplacements élevés ne remettent pas en cause la possibilité de démarrer le réacteur en l'état. Cependant, EDF propose des mesures afin de réduire ces phénomènes.

Le GMPP n° 3 est impacté par les fluctuations, lors des transitoires de démarrage et d'arrêt du réacteur, alors que sur les autres GMPP, les fluctuations apparaissent uniquement lorsque l'injection aux joints est arrêtée. De plus, les déplacements et les vibrations les plus élevées sont mesurés sur le GMPP n° 3. EDF propose donc d'augmenter le débit d'injection au joint du GMPP n° 3 jusqu'à un débit de 2700 l/h. Ceci oblige à réduire le débit d'injection aux joints des autres GMPP, car le débit pour l'ensemble des GMPP doit être constant. Le débit d'injection pour les autres GMPP sera donc au minimum de 1500 l/h. Ceci sera spécifié dans le guide d'exploitation. Enfin, EDF précise que ces nouvelles valeurs n'ont pas d'impact sur la démonstration de sûreté, car le débit d'injection au joint, préconisé dans la notice, pour chaque GMPP doit être compris en 1400 et 4500 l/h.

Concernant la tenue du bloc-joints, EDF a prévu d'utiliser un joint graphite d'un autre fournisseur, moins sensible au phénomène d'usure. De plus, EDF contrôlera, après un cycle de fonctionnement, l'intégrité du joint n° 2 ainsi que l'état de la bague de glissement et de la douille du joint n° 1. À l'issue de ce contrôle, EDF établira les préconisations techniques à appliquer aux GMPP.

De nouveaux critères d'arrêt seront introduit en vibration et en déplacement dans la fiche d'alarme. Pour les vibrations, le critère d'alarme est de 50  $\mu\text{m}$ . Si ce critère est atteint et qu'il augmente de 10  $\mu\text{m}/\text{h}$ , alors le GMPP sera arrêté manuellement. Ce nouveau critère d'arrêt, qui s'ajoute au critère de 75  $\mu\text{m}$ , est fixé afin de limiter la fatigue vibratoire. Pour les déplacements, le critère d'alarme est de 200  $\mu\text{m}$  au niveau de l'accouplement moteur. Au-delà de cette valeur, la cause des vibrations excessives doit être recherchée. De plus, si ce critère est dépassé et augmente de 25  $\mu\text{m}/\text{h}$  ou si le niveau de vibration atteint 380  $\mu\text{m}$ , alors le GMPP sera arrêté manuellement. Ce seuil est fixé afin d'éviter des frottements au niveau des paliers.

## **ANALYSE DE L'IRSN**

L'IRSN rappelle que, pour les réacteurs EPR de Taishan, le même phénomène vibratoire que sur l'EPR FA3 a été rencontré et que des fluctuations transitoires ont été observées pour le réacteur d'Olkiluoto. Les GMPP montés sur la filière EPR sont de dimensions supérieures que ceux montés sur le parc français en exploitation. L'anomalie détectée par EDF sur l'EPR FA3 apparaît donc partagée au sein de la filière EPR et pourrait être liée à un changement d'échelle qui nécessite des réglages appropriés.

Afin de déterminer l'origine des vibrations de la carcasse et des déplacements de l'arbre des GMPP, EDF s'est appuyé sur les observations effectuées lors des essais à chaud, mais aussi sur des essais réalisés sur un GMPP monté sur une boucle d'essai. Ces observations ont permis d'écarter un certain nombre d'hypothèses sur l'origine de ces vibrations et déplacements excessifs, mais ont permis de relaxer les efforts au niveau du GMPP n° 3 et ainsi de respecter le critère en déplacement. EDF en conclut que l'origine du phénomène est dû à l'apparition d'un point chaud sur l'arbre, localisé au niveau du palier auxiliaire. Ce point chaud serait dû à un

phénomène hydraulique et non à un frottement entre le rotor et le stator. L'IRSN considère exhaustive la recherche des causes réalisée par EDF, afin de déterminer l'origine de ces vibrations excessives.

Malgré la suppression du dépassement de critère vibratoire, EDF a poursuivi son analyse de l'impact éventuel d'un point de vue de la sûreté des vibrations de l'arbre moteur d'un GMPP de l'EPR FA3. L'IRSN ne remet pas en cause la sélection par EDF des pièces qui pourraient être affectées par ces phénomènes de fluctuation vibratoire et qui pourraient avoir un impact sur la fonction de sûreté confinement. Pour cela, EDF s'est appuyé sur les valeurs enveloppes des vibrations relevées lors des essais à chaud, afin de vérifier la tenue en fatigue des éléments constituant l'enveloppe du circuit primaires et des éléments servant à la fixation des GMPP. L'analyse menée par EDF permet de conclure qu'il n'y a pas d'impact sur l'intégrité et la stabilité du GMPP. EDF considère également que le risque de fuite au niveau de l'arbre est écarté, mais que la durée de vie du bloc-joints peut être abaissée en raison de frottements plus importants. Néanmoins, cette durée de vie reste supérieure à un cycle d'exploitation. EDF confirmera la durée de vie du bloc-joints après une inspection après un cycle de fonctionnement. L'IRSN partage l'analyse faite par EDF sur l'impact des vibrations sur les GMPP et le circuit primaire et la proposition d'inspection du bloc-joints après un cycle de fonctionnement.

Les mesures de déplacements et de vibrations, après relaxation des efforts sur le GMPP n° 3, sont plus élevées que prévu mais respectent les critères d'alarme choisis par EDF, critères plus contraignants que ceux de la norme européenne. EDF propose de réduire encore les vibrations et déplacements, lors de l'exploitation de l'EPR FA3. Ainsi, EDF propose d'augmenter le débit d'injection au joint n° 1 du GMPP n° 3 et de le diminuer au joint n° 1 des trois autres GMPP. Le débit d'injection global aux joints sur l'ensemble des GMPP doit en effet rester constant. De même, EDF propose d'ajouter deux critères d'alarme en introduisant un critère de vitesse de dérive pour les vibrations et les déplacements. Ces critères permettront de détecter le caractère cyclique des fluctuations. **L'IRSN partage la proposition d'EDF et considère que ces modifications devraient permettre de ne pas atteindre les critères d'alarme en fonctionnement normal. L'ajout de nouveaux critères d'arrêt est de nature à garantir l'intégrité du GMPP et de son bloc-joints.**

**En conclusion, l'IRSN considère que l'analyse d'EDF est exhaustive et que les modifications du guide d'exploitation et de la fiche d'alarmes permettront de détecter au plus tôt une dérive du phénomène vibratoire. À ce titre, l'IRSN partage la conclusion d'EDF sur l'absence d'impact vis-à-vis de démarrage de l'EPR FA3.**

**IRSN**

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté