

Fontenay-Aux-Roses, le 16 octobre 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2020-00158

Objet : EDF – REP – Présence de corps migrants dans des assemblages de combustible de conception Westinghouse.

Réf. : Saisine ASN - CODEP-DCN-2020-050099 du 14 octobre 2020.

Conformément à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en référence, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné l'acceptabilité, au plan de la sûreté, de recharger en réacteur des assemblages de combustible de conception Westinghouse concernés par la présence importante de corps migrants.

1. CONTEXTE

Mi-septembre 2020, EDF a informé l'ASN de difficultés rencontrées lors de l'arrêt pour rechargement du combustible du réacteur n° 1 du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) de Golfech pour extraire un nouveau type de corps migrants bloqués en partie basse de plusieurs assemblages de combustible de conception Westinghouse. Ces corps migrants, en nombre important, sont plus spécifiquement localisés entre la *Protective Grid*¹ (*P-Grid*) et le dispositif anti-débris² d'assemblages de combustible ayant été irradiés un cycle.

Par la suite, EDF a informé l'ASN que deux autres réacteurs à l'arrêt étaient également concernés par la présence de ce même type de corps migrants, à savoir le réacteur n° 4 du CNPE de Cattenom et le réacteur n° 1 du CNPE de Penly.

¹ La *Protective Grid*, grille en Inconel 718, a pour objectif premier de maintenir les crayons de combustible en partie basse pour éviter le risque de perte d'étanchéité par usure vibratoire en fonctionnement normal (*fretting*). Ce type de grille a été introduit au début des années 2000 pour tous les assemblages de combustible de conception Westinghouse.

² Le dispositif anti-débris, situé au niveau de l'embout inférieur des assemblages de combustible, a pour objectif de filtrer et capturer les potentiels corps migrants qui circulent dans le circuit primaire.

La présence de ces corps migrants a été observée lors des inspections télévisuelles (ITV) réalisées lors des déchargements du combustible. Selon EDF, les éléments visuels examinés montrent que les corps migrants correspondent à des ligaments inférieurs des plaquettes internes constituant les cellules de la *P-Grid*.

Le retour d'expérience acquis à l'international relatif à l'exploitation de ce type de grille de conception Westinghouse fait état uniquement de dégradations au niveau des ligaments supérieurs de *P-Grid*.

EDF a identifié que les *P-Grid* concernées ont toutes été fabriquées à partir d'une même coulée de matière en Inconel 718, constituant à ce jour le seul point commun. Dès lors, plus de 1800 assemblages de combustible de conception Westinghouse sont potentiellement concernés par une fragilité de leur *P-Grid*, dont certains sont actuellement en cours d'irradiation ou le seront sur plusieurs réacteurs³.

Compte tenu des difficultés rencontrées pour extraire les corps migrants (peu de corps migrants ont en effet pu être extraits malgré de nombreuses tentatives⁴), la stratégie retenue par EDF consiste à démontrer l'innocuité des corps migrants observés et, par conséquent, la rechargeabilité des assemblages de combustible concernés, ayant des *P-Grid* dégradées et des corps migrants bloqués en partie basse.

L'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur l'acceptabilité, au plan de la sûreté, de recharger en réacteur des assemblages de combustible de conception Westinghouse concernés par une présence importante d'un nouveau type de corps migrants. En particulier, l'ASN souhaite connaître la position de l'IRSN sur :

- « la nocivité des corps migrants vis-à-vis de l'intégrité de la première barrière et des systèmes de protection, de surveillance et de contrôle du réacteur pour les cycles d'irradiation en cours ou lors des cycles à venir ;
- l'origine de ces corps migrants et le bornage de l'événement ainsi que sur les mesures relatives à la fabrication et à l'exploitation pouvant être mises en œuvre pour limiter leur apparition et leur nocivité ;
- d'éventuelles mesures compensatoires ou bonnes pratiques qui semblent nécessaires pour les cycles d'irradiation en cours et les prochains cycles ».

2. CAUSES DES CORPS MIGRANTS ET BORNAGE DE L'ÉVÉNEMENT

La présence de corps migrants dans la cuve des réacteurs peut avoir, soit une origine endogène aux assemblages de combustible, comme des arrachements de morceaux de plaquettes de grille lors de la manutention des assemblages ou des fissurations de ressorts de grille lors du fonctionnement des réacteurs, soit une origine exogène, comme des objets provenant des chantiers de maintenance des réacteurs.

Dans le cadre du présent événement, les premières analyses d'EDF (ITV et métallographies) ont consisté à borner l'événement et à caractériser les corps migrants pour identifier, d'une part leur provenance (ligaments inférieurs de la *P-Grid*), d'autre part la ou les causes de leur formation. À date, ces premières analyses ne sont pas conclusives.

Concernant les ITV, EDF prévoit ainsi d'étendre l'analyse à tous les réacteurs chargés avec des assemblages de combustible de conception Westinghouse et aux deux derniers arrêts pour chacun de ces réacteurs. EDF prévoit également de renforcer l'analyse systématique des ITV qui seront réalisés lors des futurs arrêts des réacteurs. **L'IRSN estime satisfaisants ces engagements. Les résultats et les enseignements tirés devront néanmoins être communiqués, dans les meilleurs délais, à l'ASN et l'IRSN. Ceci fait l'objet de l'engagement n° 1 rappelé dans l'annexe 2.**

³ Les réacteurs n° 1 et n° 2 du CNPE de Belleville, n° 1 et n° 2 du CNPE du Blayais, n° 4 du CNPE de Cattenom, n° 1 à n° 4 du CNPE de Chinon, n° 1 et n° 2 du CNPE de Cruas, n° 2 du CNPE de Flamanville, n° 1 et n° 2 du CNPE de Golfech, n° 1 et n° 3 à n° 6 du CNPE de Gravelines, n° 1 du CNPE de Nogent, n° 3 du CNPE de Paluel, n° 1 et n° 2 du CNPE de Penly et n° 1 et n° 2 du CNPE de Saint-Laurent B.

⁴ EDF a essayé plusieurs procédés d'extraction par soufflage, aspiration ou en utilisant des pinces.

Concernant l'expertise réalisée en laboratoire, EDF n'a pu analyser, à ce jour, qu'un seul corps migrant et a conclu en première analyse que la fatigue vibratoire serait le mécanisme d'endommagement privilégié. Pour l'IRSN, ce seul examen n'est pas suffisant. De ce fait, il est nécessaire qu'EDF poursuive ses analyses, par un nombre suffisant d'examen, d'une part des corps migrants, d'autre part des *P-Grid*, afin d'identifier de manière probante la provenance des corps migrants, d'expliquer les mécanismes d'endommagement des *P-Grid* et d'évaluer leur état.

Au cours de l'expertise, EDF a indiqué que quatre assemblages concernés par la présence de corps migrants ont été écartés du prochain rechargement du réacteur n° 1 du CNPE de Golfech, afin de réaliser des examens complémentaires, sans en préciser les objectifs. Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 1 en annexe 1.

De plus, EDF a investigué le processus de fabrication des *P-Grid* avec son fournisseur Westinghouse. EDF a tout d'abord identifié que les *P-Grid* incriminées ont toutes été fabriquées à partir d'une même coulée de matière en Inconel 718. EDF et Westinghouse n'ont, à ce jour, pas identifié de singularité de fabrication (par exemple de type métallurgique) pouvant expliquer un comportement atypique à l'origine de ces corps migrants. **Néanmoins, EDF prévoit de poursuivre son enquête de fabrication. L'IRSN estime satisfaisant cet engagement, ce qui fait l'objet de l'engagement n° 2 rappelé en annexe 2.**

Enfin, au cours de l'expertise, EDF a apporté des éléments concernant un éventuel lien du positionnement des assemblages de combustible en réacteur (plan de chargement) ou encore du fonctionnement des réacteurs à des niveaux de puissance faibles (fonctionnement en suivi de charge) sur la formation de ces corps migrants.

Compte tenu des données disponibles à ce jour, il n'est pas possible de conclure sur d'éventuelles corrélations avec les conditions d'exploitation des réacteurs.

En l'état, l'IRSN estime que les causes des corps migrants observés entre la *P-Grid* et le dispositif anti-débris des assemblages de conception de combustible Westinghouse, ni le bornage de cet événement, ne sont clairement établis. De ce fait, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF poursuive la recherche des causes pour aboutir à une caractérisation complète et probante de cet événement.

3. NOCIVITÉ LIÉE AUX CORPS MIGRANTS ET DÉGRADATION DES P-GRID

Tout d'abord, l'IRSN estime non satisfaisant sur le principe de recharger en réacteur des assemblages de combustible comportant des corps migrants bloqués entre la *P-Grid* et le dispositif anti-débris des assemblages. De ce fait, EDF a dû mener une analyse de nocivité liée à la présence des corps migrants et à la dégradation des *P-Grid*, afin de justifier la rechargeabilité des assemblages de combustible concernés.

EDF considère que la fonctionnalité de support de maintien des crayons de combustible en partie basse au regard du risque de *fretting* d'une *P-Grid* dégradée est préservée. Au cours de l'expertise, EDF a indiqué la possibilité de réaliser des essais sur le comportement vibratoire de *P-Grid* dégradée dans des conditions représentatives de réacteurs.

L'IRSN estime que la réalisation de tels essais est nécessaire afin de démontrer, de manière probante, la capacité de la *P-Grid* dégradée à éviter le risque de perte d'étanchéité des crayons de combustible par usure vibratoire et d'évaluer l'évolution de son état au-delà d'un cycle. De plus, l'IRSN estime nécessaire qu'EDF engage des calculs de fatigue vibratoire, afin d'étayer les mécanismes d'endommagement des *P-Grid*. L'ensemble de ces points conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 2 en annexe 1.

EDF considère que les dimensions des corps migrants ne permettent pas *in fine* leur circulation dans le circuit primaire⁵ et n'a identifié aucun mécanisme plausible pouvant être à l'origine d'une fragmentation en plus petits morceaux des corps migrants.

Compte tenu du caractère tridimensionnel et fortement turbulent des écoulements en bas du cœur et en l'absence de connaissance sur l'évolution de l'état des corps migrants (potentielles usure ou fragmentation), l'IRSN ne peut exclure à ce stade leur circulation dans le circuit primaire.

Ainsi, deux scénarios sont envisagés pour l'exploitation de ces assemblages : les corps migrants restent bloqués entre la *P-Grid* et le dispositif anti-débris ou peuvent se libérer de cette zone.

Pour ce qui concerne le premier scénario, privilégié par EDF, la démonstration d'absence de nocivité couvre notamment les risques d'apparition de la crise d'ébullition⁶ et d'absence de maintien axial⁷ des assemblages de combustible. Cette évaluation de sûreté prend en compte notamment un nombre maximal de corps migrants par assemblage, bloqués en partie basse d'assemblage. L'IRSN estime satisfaisants les compléments apportés par EDF au cours de l'expertise dans la mesure où plusieurs conservatismes ont été retenus dans l'analyse de sûreté.

La poursuite de l'exploitation des réacteurs d'EDF est justifiée sur la base d'analyses démontrant l'absence de nocivité des corps migrants pour les cas où ils ne peuvent pas être extraits lors des opérations de renouvellement du combustible.

Nonobstant ces analyses, l'IRSN estime important qu'EDF veille à ce que les CNPE mettent en œuvre tous leurs efforts afin d'extraire, au maximum, les corps migrants.

Lors des prochains déchargements du combustible, dans l'éventualité où EDF observerait un nombre de corps migrants par assemblage qui dépasserait les hypothèses de l'analyse de sûreté présentée ci-avant, l'IRSN estime qu'EDF ne doit pas recharger les assemblages concernés et doit analyser les conséquences réelles et potentielles sur la sûreté des réacteurs pour le cycle passé avant leur redémarrage.

Pour ce qui concerne le second scénario, jugé comme hautement improbable par EDF, les compléments de justifications relatifs aux effets potentiels de corps migrants dans le circuit primaire couvrent :

- le risque d'usure vibratoire du crayon au contact des corps migrants qui seraient coincés dans les cellules de grille des assemblages : leur vibration peut conduire à une réduction localisée de l'épaisseur de gaine des crayons de combustible jusqu'à leur éventuelle perte d'étanchéité.

EDF considère que ce risque est une problématique générique, traitée au travers de la démonstration de sûreté relative à la prise en compte des crayons inétanches. **En tout état de cause, l'IRSN souligne que la surveillance de la radiochimie du circuit primaire en exploitation permet de détecter les pertes d'étanchéité des crayons de combustible en réacteur.** En effet, les spécifications radiochimiques actuelles sont établies de manière pertinente et définissent les dispositions de surveillance de la contamination du circuit primaire et la conduite à tenir en cas de contamination trop élevée visant à limiter en particulier les conséquences de la présence de crayons inétanches ;

⁵ À noter qu'aucun corps migrant n'a été retrouvé sur les plaques inférieures de cœur (PIC) des trois réacteurs concernés, ce qui laisse supposer qu'aucun corps migrant de ce type n'a circulé dans le circuit primaire.

⁶ Le risque de crise d'ébullition est lié à la vaporisation du fluide primaire en contact avec les crayons de combustible, qui entraîne une dégradation soudaine des échanges thermiques entre ces derniers et le fluide.

⁷ La vérification du maintien axial des assemblages vise à s'assurer que le système de ressorts de l'embout supérieur empêche tout déplacement vibratoire entre l'embout inférieur des assemblages de combustible et la plaque inférieure de cœur compte tenu des sollicitations thermohydrauliques.

- le risque de coincement éventuel de corps migrants notamment au niveau d'un certain nombre de composants constitutifs des mécanismes de commande de grappes. Au cours de l'expertise, EDF a souligné que l'analyse menée dans le cadre de la présence en réacteur de ressorts fissurés de grilles d'assemblages de combustible de conception Framatome⁸ conduit à une absence de nocivité des morceaux de ressort. Ces morceaux de ressort présentent des caractéristiques similaires à celles des corps migrants provenant des *P-Grid*. De plus, selon EDF, le retour d'expérience montre que la présence de ces morceaux de ressort dans le circuit primaire n'a pas d'impact sur les résultats des essais de temps de chute de grappes réalisés au titre des essais périodiques des règles générales d'exploitation.

En cas de rechargement d'assemblages de combustible de conception Westinghouse avec des *P-Grid* dégradées, dont leur comportement en réacteur au-delà d'un cycle reste insuffisamment caractérisé, l'IRSN n'est pas en mesure d'exclure une production importante de corps migrants susceptibles de se déplacer dans le circuit primaire. Par conséquent, l'IRSN estime nécessaire, dans ce cas, de vérifier que la disponibilité de l'arrêt automatique du réacteur n'est pas mise en cause par un éventuel blocage de grappe de commande au cours du cycle. Ceci conduit l'IRSN à formuler la recommandation n° 3 en annexe 1, qui concerne à ce jour le réacteur n° 4 du CNPE de Cattenom, le réacteur n° 1 du CNPE de Golfech et le réacteur n°1 du CNPE de Penly.

Par ailleurs, EDF a précisé au cours de l'expertise qu'un peu moins de 400 assemblages de combustible de conception Westinghouse comprenant des *P-Grid* fabriquées avec la coulée commune en Inconel 718 ont été irradiés pendant un cycle, répartis sur 17 campagnes d'irradiation sans qu'aucun corps migrant n'ait été détecté et sans conduire à un aléa d'exploitation. L'IRSN convient que ces éléments sont de nature rassurante.

En termes de mesure corrective, afin de limiter les divers phénomènes pouvant conduire à la dégradation de *P-Grid* et à la formation de corps migrants, EDF prévoit d'analyser la faisabilité de mettre en œuvre, rapidement, une conception améliorée de la *P-Grid* (dite *Robust P-Grid*), déployée chez la majorité des exploitants à l'international. **Ceci fait l'objet de l'engagement n° 3 rappelé en annexe 2, que l'IRSN considère satisfaisant sur le principe. En effet, la conception améliorée de la *P-Grid* devra être déployée au plus tôt lors des futures recharges d'assemblages de combustible de conception Westinghouse.**

4. CONCLUSION

Les inspections télévisuelles réalisées lors du dernier déchargement du réacteur n° 1 du CNPE de Golfech ont mis en évidence la présence d'un nouveau type de corps migrants bloqués entre la *P-Grid* et la grille anti-débris de l'embout inférieur de plusieurs assemblages de combustible de conception Westinghouse. EDF a fait la même observation sur le réacteur n° 4 du CNPE de Cattenom et sur le réacteur n° 1 du CNPE de Penly.

La présence de ce nouveau type de corps migrants, en quantité importante, provenant d'une dégradation de la *P-Grid* de certains assemblages de conception Westinghouse et irradiés dans plusieurs réacteurs d'EDF est un phénomène inédit et mal appréhendé à ce jour. L'IRSN considère qu'EDF doit poursuivre ses analyses, afin de caractériser complètement ce phénomène, de limiter le bornage des assemblages incriminés et *in fine* de statuer sur le potentiel caractère évolutif du phénomène. EDF devra régulièrement informer l'ASN et l'IRSN des résultats de ses investigations.

Nonobstant l'analyse de nocivité présentée par EDF et le retour d'expérience disponible, l'IRSN estime nécessaire, en cas de rechargement d'assemblages de combustible de conception Westinghouse comportant des *P-Grid* dégradées, de vérifier la disponibilité de l'arrêt automatique du réacteur par des essais supplémentaires de temps de chute de grappe, notamment pour le réacteur n° 4 du CNPE de Cattenom, le réacteur n° 1 du CNPE de Golfech et le réacteur n°1 du CNPE de Penly.

⁸ Depuis plusieurs années, des morceaux de ressorts de grilles sont retrouvés de manière récurrente et en quantité importante dans certains réacteurs.

Pour les réacteurs actuellement en production, qui ont des assemblages de combustible de conception Westinghouse potentiellement concernés par l'anomalie des *P-Grid* et qui font l'objet de leur premier cycle d'irradiation, l'IRSN n'a pas identifié, à date, de mesure compensatoire à mettre en œuvre jusqu'au prochain arrêt de ces réacteurs, au vu du retour d'expérience d'exploitation disponible.

Toutefois, dans le cadre d'une démarche prudente d'exploitation des réacteurs, dès lors que la présence de corps migrants est constatée, l'IRSN souligne l'importance qu'EDF mobilise tous ses efforts afin d'extraire au maximum les corps migrants localisés au niveau des pieds d'assemblages de combustible de conception Westinghouse avant leur rechargement. À cet égard, l'IRSN considère qu'EDF ne doit pas recharger d'assemblages présentant, lors des futurs déchargements du combustible, un nombre important de corps migrants.

En tout état de cause, l'IRSN estime que la mesure corrective envisagée par EDF, consistant à utiliser une conception améliorée de la *P-Grid*, doit être déployée au plus tôt lors des futures recharges de combustible Westinghouse.

En conclusion, à l'issue de l'expertise des éléments apportés par EDF, l'IRSN considère que le rechargement en réacteur d'assemblages de combustible de conception Westinghouse, comportant des corps migrants bloqués entre la *P-Grid* et la grille anti-débris de l'embout inférieur, reste acceptable sous réserve de la réalisation d'essais de temps de chute de grappes supplémentaires.

IRSN
Le Directeur général
Par délégation
Hervé BODINEAU
Adjoint au Directeur de l'Expertise de Sécurité

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2020-00158 DU 16 OCTOBRE 2020

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'EDF réalise, dans les meilleurs délais, un nombre suffisant d'examens de corps migrants et de *P-Grid* dégradées, pour lesquelles des ligaments inférieurs sont manquants, afin d'identifier de manière probante la provenance des corps migrants, d'expliquer les mécanismes d'endommagement des *P-Grid* et d'évaluer leur état.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'EDF réalise, dans les meilleurs délais, des essais relatifs au comportement vibratoire de *P-Grid* dégradées, pour lesquelles des ligaments inférieurs sont manquants, dans des conditions représentatives des réacteurs afin d'évaluer le maintien de leur fonction anti-*fretting* des crayons de combustible. De plus, EDF réalisera des calculs hydromécaniques en fatigue vibratoire, ce qui permettra également d'étayer les mécanismes d'endommagement des *P-Grid*.

Recommandation n° 3

L'IRSN recommande qu'EDF réalise, en cas de rechargement d'assemblages de combustible de conception Westinghouse avec des *P-Grid* dégradées, un essai de temps de chute de grappe supplémentaire après un mois d'exploitation, ainsi qu'un essai supplémentaire entre 60% et 80% d'avancement dans le cycle, de manière à s'assurer du maintien de la disponibilité de l'arrêt automatique du réacteur.

ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2020-00158 DU 16 OCTOBRE 2020

Engagements principaux de l'exploitant

Engagement n° 1

EDF s'est engagé à étendre l'analyse des inspections télévisuelles (ITV) à tous les réacteurs chargés avec des assemblages de combustible de conception Westinghouse et aux deux derniers arrêts pour chacun de ces réacteurs et d'en communiquer les résultats et enseignements. EDF s'est également engagé à renforcer l'analyse systématique des ITV qui seront réalisées lors des futurs arrêts de réacteurs.

Engagement n° 2

EDF s'est engagé à poursuivre l'enquête de fabrication, afin d'identifier un éventuel lien pouvant expliquer l'origine des corps migrants localisés en partie basse des assemblages de combustible de conception Westinghouse.

Engagement n° 3

EDF s'est engagé à analyser la faisabilité de mettre en œuvre rapidement une conception améliorée de la *P-Grid* des assemblages de combustible de conception Westinghouse, afin de limiter les divers phénomènes pouvant conduire aux dégradations constatées.