

**Référence courrier :**  
CODEP-DCN-2023-023678

**Monsieur le Directeur**  
**EDF – DIPNN – DP FA3**  
**97 avenue Pierre Brossolette**  
**92120 Montrouge**

Montrouge, le 17 avril 2023

**Objet :** Réacteur EPR de Flamanville  
Combustible - Prise en compte du retour d'expérience de la mise en service des premiers EPR

**Références :** cf. annexe 1

Monsieur le Directeur,

En juillet 2021, l'exploitant du premier EPR mis en service a procédé à la mise à l'arrêt du réacteur au cours du deuxième cycle d'irradiation, à la suite de l'augmentation de l'activité du circuit primaire, indicateur de la perte d'étanchéité probable de crayons de combustible.

Les inspections télévisuelles du combustible réalisées lors de cet arrêt ont mis en évidence plusieurs anomalies. Il apparaît qu'une partie des endommagements du combustible constatés résultent d'une utilisation de matériau inadapté dans les assemblages de combustible et que d'autres sont induits par des fluctuations de débit en entrée du cœur liées à la conception du plénum inférieur de la cuve.

Dans l'attente de la réalisation de modifications améliorant les écoulements hydrauliques en entrée cœur, EDF propose plusieurs modifications du combustible visant à prendre en compte ce retour d'expérience pour la démonstration de sûreté du réacteur EPR de Flamanville (FA3) pour le premier cycle, d'une part, et pour les cycles ultérieurs, d'autre part.

Les modifications envisagées pour la prise en compte de ce retour d'expérience [1][2] consistent à charger, pour le premier cycle d'irradiation du réacteur FA3, 64 assemblages de combustible rigidifiés par rapport au combustible déjà approvisionné. Ces assemblages seront positionnés en périphérie du cœur et seront porteurs d'évolutions de fabrication selon des procédés déjà qualifiés et d'ores et déjà mis en œuvre pour la fabrication des assemblages destinés aux réacteurs d'EDF en fonctionnement. Ces assemblages ne seront, a priori, pas rechargés pour le second cycle et feront l'objet d'un programme d'expertise approfondi.

Pour le second cycle d'irradiation, EDF prévoit, à ce jour, d'approvisionner 64 à 80 assemblages comportant des améliorations supplémentaires par rapport aux 64 assemblages livrés au premier cycle.



Cependant, ces améliorations nécessitent la mise en œuvre de procédés de fabrication qu'il est nécessaire de qualifier.

Je vous prie de bien vouloir trouver ci-après la position de l'ASN sur cette stratégie.

### **1. Pertes d'étanchéité des crayons de combustible**

Lors du deuxième cycle du premier EPR mis en service, des inétanchéités de gaines de crayons de combustible ont été observées sur plusieurs assemblages localisés, lors de leur premier cycle d'irradiation, sur la couronne périphérique du cœur.

EDF a montré que les pertes d'étanchéité du combustible ont été causées par un phénomène vibratoire des crayons, qualifié de « *fretting* », contre des ressorts des grilles rompus par corrosion sous contrainte (CSC) accélérée par une sous-irradiation des ressorts. Sur les EPR, la couronne des assemblages périphériques est globalement moins irradiée que les assemblages du reste du cœur. La fissuration des ressorts de grille par CSC et les pertes d'intégrité de crayons combustible par *fretting* ont été rencontrées sur certains réacteurs d'EDF au début des années 2010. Depuis 2019, ce phénomène est en cours de résorption grâce à la mise en œuvre d'un traitement thermique de recuit final à basse température (RFBT) sur les bobines d'alliage 718 qui servent à la fabrication des ressorts. Les premières recharges du premier EPR mis en service et du réacteur EPR de Flamanville ont été fabriquées avant 2019 et n'ont donc pas bénéficié de ce traitement thermique.

Afin de réduire les risques de rupture des ressorts par CSC, EDF a décidé d'utiliser des ressorts de grilles ayant bénéficié du traitement thermique RFBT pour les 64 assemblages périphériques approvisionnés pour le premier cycle.

L'ASN note que les 64 assemblages situés en périphérie du cœur lors du premier cycle ne seront pas rechargés pour le second cycle afin de réaliser un examen approfondis de ces assemblages

**L'ASN considère que les investigations réalisées par EDF afin d'identifier les causes des pertes d'étanchéité des crayons de combustibles sont satisfaisantes et que la désensibilisation de l'alliage 718 à la CSC par traitement thermique RFBT constitue une amélioration positive sur la tenue des ressorts des grilles des assemblages périphériques.**



## 2. Usure prononcée des grilles d'assemblages de combustible

Une usure anormale des grilles de certains assemblages de combustible a été observée. Cette anomalie concerne un nombre limité d'assemblages et les usures les plus significatives ont été observées sur les grilles des assemblages situés en périphérie du cœur, au contact du réflecteur lourd.

Sur la base d'inspections télévisuelles et de simulations numériques, EDF a établi que des fluctuations de débit à l'entrée du cœur engendrent une oscillation des assemblages ; notamment des assemblages périphériques contre le réflecteur lourd, conduisant à user les grilles au contact de celui-ci. Il apparaît également que l'usure des grilles est davantage marquée lors du second cycle d'irradiation que lors du premier cycle.

EDF estime que la diminution de la rigidité des assemblages avec l'irradiation contribue à l'augmentation de l'amplitude des oscillations des assemblages contre le réflecteur lourd au cours du second cycle.

Afin de limiter les oscillations latérales des assemblages, EDF a décidé, pour le premier cycle d'irradiation de l'EPR de Flamanville, d'utiliser dans les 64 assemblages qui seront positionnés en périphérie du cœur, des tubes guides et des grilles en alliage Q12. Cet alliage, déjà utilisé pour les tubes guides des assemblages chargés sur les réacteurs de 1450 MWe, bénéficie d'un bon retour d'expérience d'exploitation en France en termes de limitation de la déformation sous irradiation et permet d'améliorer la rigidité du combustible.

**Les inspections réalisées par l'ASN en 2022 ont montré que ces améliorations dans la fabrication des assemblages sont bien maîtrisées et permettent l'obtention de produits aux caractéristiques reproductibles [4] [5] [6] [7].**

**L'ASN considère que la mise en place d'assemblages à tubes guides et grilles en alliage Q12 en périphérie du cœur, lors du premier cycle du réacteur EPR de Flamanville, constitue une amélioration positive afin de limiter les oscillations latérales en service des assemblages et, par conséquent, l'usure des grilles.**

À partir du second cycle, EDF a décidé d'introduire progressivement des assemblages plus robustes qui disposeront, en complément des modifications apportées pour le premier cycle, des améliorations supplémentaires :

- l'ajout de quatre points de soudure supplémentaires entre les tubes guides et les grilles afin de rigidifier la structure de l'assemblage et réduire l'amplitude des oscillations ;
- le remplacement des grilles d'extrémités supérieure et inférieure par des grilles HMP à ressorts emboutis afin de limiter le risque de rupture par corrosion sous contrainte au niveau de ces grilles et ainsi réduire le risque de perte d'étanchéité des crayons de combustible ;



- le remplacement de l'embout TRAPPER inférieur par un embout RFG (Robust Fuel Guard) qui permet de limiter les fluctuations de débit en partie basse des assemblages et donc de réduire les vibrations des crayons. Cette amélioration vise à limiter les risques de pertes d'étanchéité des crayons et l'usure des bouchons inférieurs des crayons.

Ces assemblages seront positionnés, à chaque cycle, aux emplacements les plus exposés à l'usure de grille.

**L'ASN considère que ces améliorations de conception des assemblages de combustible constituent des améliorations positives.**

Enfin, EDF a décidé de tenir compte, dans la construction du plan de cœur, pour les assemblages déjà irradiés, de l'orientation de leurs déformations afin de limiter les risques de frottement et d'usure de grille.

**L'ASN considère qu'il s'agit là d'une bonne pratique qui bénéficie d'un retour d'expérience favorable.**

L'ASN note que les modifications décidées sont notamment susceptibles de modifier la perte de charge et les conditions de mélange du fluide primaire au niveau des assemblages. Il conviendra donc de vérifier les impacts des modifications apportées aux assemblages de combustible sur la démonstration de sûreté.

#### **Demande n° 1 :**

**L'ASN vous demande d'analyser, dans le cadre de la conception de ces assemblages et avant leur fabrication, l'impact des modifications du combustible sur les études du rapport de sûreté (RDS)**

### **3. Usure anormale des bouchons inférieurs des crayons de combustible**

Une usure anormale des bouchons inférieurs de certains crayons de combustible, limitée à la partie conique terminale, a été observée sur certains assemblages, notamment sur des assemblages comportant des ressorts de grille rompus. Sur la base des observations issues des réacteurs en fonctionnement, EDF conclut que ce phénomène provient du contact entre les bouchons des crayons de combustible et les ligaments du filtre anti-débris de l'embout inférieur de l'assemblage. En effet, le grandissement différentiel, qualifié de « *fluage* », des crayons à gainage M5 est un phénomène qui se produit de manière classique au cours de l'irradiation et conduit à la fermeture progressive du jeu entre les crayons et l'embout inférieur.

De plus, la dégradation des conditions de supportage des crayons au niveau de la bi-grille, du fait des ruptures de ressorts, peut accélérer l'usure des bouchons en favorisant le glissement des crayons.

EDF estime que ce phénomène n'est pas susceptible de remettre en cause l'étanchéité du crayon au bout de trois cycles d'irradiation. De ce fait, aucune modification de conception n'est prévue pour le premier cycle du réacteur EPR de Flamanville.



L'ASN note que le traitement RFBT des ressorts permettra de réduire le risque de glissement des crayons au cours de l'irradiation. Ce point n'appelle pas de remarque de la part de l'ASN.

#### **4. Corrosion accélérée des gaines en alliage M5**

Une corrosion accélérée des gaines en alliage M5, également observée récemment sur certains réacteurs en exploitation [8], a été identifiée sur des assemblages de combustible du premier EPR mis en service.

Les causes identifiées pour le premier EPR mis en service sont identiques à celles mises évidence dans le cadre du traitement de l'anomalie pour les réacteurs d'EDF en fonctionnement, et notamment :

- une sensibilité du matériau M5 à la corrosion du fait de sa faible teneur en fer (320 à 360 ppm) conformément à la spécification ;
- la présence d'un début de phénomène d'ébullition nucléée en partie haute d'assemblage.

Par ailleurs, l'ASN note que certains crayons issus de coulées particulières sont particulièrement sensibles au phénomène de corrosion.

Pour le premier cycle d'irradiation, EDF prévoit d'augmenter la teneur en fer (450 à 700 ppm) des gaines des 64 assemblages qui seront installés en périphérie du cœur.

#### **Demande n° 2 :**

**L'ASN vous demande de préciser, sous deux mois, les modalités d'utilisation des assemblages de combustible issus de coulées sensibles que vous envisagez pour l'EPR de Flamanville et, le cas échéant, les dispositions compensatoires que vous prévoyez.**

L'ASN note que les améliorations de combustible que vous prévoyez pour le premier cycle d'irradiation et les cycles ultérieurs résultent, pour une partie, des fluctuations hydrauliques en entrée du cœur. Les modifications de combustible que vous envisagez visent à réduire les impacts de ces écoulements mais ne permettront pas de supprimer l'ensemble de leurs effets. Dans l'attente de la mise en œuvre d'une solution corrective, l'ASN a noté que vous prévoyez la mise en œuvre d'une surveillance particulière du combustible, basée notamment sur une expertise des assemblages à la fin de chaque cycle.

#### **Demande n° 3 :**

**L'ASN vous demande de lui transmettre, avant le démarrage du réacteur EPR de Flamanville, le programme d'expertise que vous envisagez à l'issue du premier cycle de fonctionnement et les objectifs du programme de surveillance pour les cycles à suivre, dans l'attente de la mise en œuvre**



**d'une disposition réduisant les effets hydrauliques liés à la conception actuelle du plenum inférieur de la cuve.**

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de ma considération distinguée.

Signé par le directeur de la direction des centrales  
nucléaires

**Rémy CATTEAU**



**ANNEXE 1 À LA LETTRE CODEP-DCN-2023-023678**

**Références**

- [1] Note EDF D3059221008716 indice A du 13 juillet 2022 « Stratégie globale d'intégration du REX des premiers EPR concernant le cœur et le combustible »
- [2] Note Framatome FS1-0064728 révision 2.0 « EPR Flamanville 3 – Prise en compte du retour d'expérience usure des bouchons inférieurs de crayons »
- [3] Décision ASN n° 2020-DC-0693 du 8 octobre 2020
- [4] Lettre ASN CODEP-DCN-2022-030080 du 24 juin 2022
- [5] Lettre ASN CODEP-DCN-2022-035692 du 19 juillet 2022
- [6] Lettre ASN CODEP-DCN-2022-044644 du 12 septembre 2022
- [7] Lettre ASN CODEP-DCN-2022-046865 du 07 octobre 2022
- [8] Lettre ASN CODEP-DCN-2021-042817 du 30 septembre 2021