

**Référence courrier :**  
CODEP-DCN-2022-045386

**Monsieur le Directeur**  
Division Production Nucléaire  
EDF  
Site Cap Ampère – 1 place Pleyel  
93282 SAINT-DENIS CEDEX

Montrouge, le 19 décembre 2022

**Objet :** Réunion du GPR du 7 juillet 2022 : retour d'expérience du comportement du combustible et des grappes sur la période 2010 - 2019

**Références :**

- [1] CODEP-DCN-2020-058573 du 29 décembre 2020 – Compte rendu de la réunion de cadrage
- [2] CODEP-DCN-2022-018234 du 29 avril 2022 - Saisine du Groupe Permanent Réacteurs
- [3] CODEP-MEA-035754 du 11 juillet 2022 – Avis du Groupe Permanent Réacteurs du 7 juillet 2022
- [4] EDF D455022006085 du 12 octobre 2022 - Positions/Actions d'EDF à la suite des recommandations émises dans le projet de rapport de l'IRSN

Monsieur le Directeur,

Les dispositions de l'article 2.7.2 de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base demandent que les exploitants prennent les dispositions nécessaires pour collecter et analyser les informations susceptibles de leur permettre d'améliorer la sûreté de leurs installations, qu'il s'agisse d'informations issues du retour d'expérience national ou international ou issues de recherches et développements.

Compte tenu des évolutions intervenues ces dernières années dans la mise en œuvre du combustible et des grappes dans vos réacteurs, l'ASN vous a demandé [1] de procéder à un bilan des enseignements tirés de leur exploitation pour la période comprise entre 2010 et 2019. Après instruction de votre dossier par l'IRSN et, à l'instar des examens réalisés en 2004 et en 2011 pour les périodes 1996-2002 et 2003-2009, l'ASN a souhaité recueillir [2] l'avis du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires (GPR). En complément de la période d'observation, le groupe permanent a tenu compte d'évènements survenus plus récemment afin de compléter son appréciation d'ensemble du comportement du combustible dans les réacteurs et a examiné les suites données par EDF aux demandes de l'ASN ayant suivi l'examen précédent.

Au cours de sa réunion du 7 juillet 2022, le GPR a plus particulièrement examiné [3] :

- le comportement du combustible et des grappes dans les réacteurs exploités par EDF ;

- la pertinence des évolutions de conception et de fabrication apportées aux combustibles et aux grappes ;
- la prise en compte par EDF des enseignements tirés du retour d'expérience des événements survenus dans cette période ainsi que l'adéquation des actions et mesures d'exploitation retenues par EDF ;
- l'adéquation des programmes de surveillance, d'expérimentation et de recherche et développement vis-à-vis des problèmes identifiés.

**Vous avez répondu de manière satisfaisante à l'ensemble des questions ouvertes lors de l'instruction. Le cas échéant, vous vous êtes engagé à mener les actions nécessaires [4].**

La période 2010 - 2019 a été marquée par de nombreuses évolutions en matière de gestion de combustible, de conception et de fabrication des assemblages de combustible et des grappes ainsi que de méthodes d'étude de sûreté.

Ces évolutions, mises en œuvre notamment pour tenir compte des événements ayant affecté le combustible au cours de la période, ont permis d'améliorer la sûreté, la fiabilité et les performances du combustible en exploitation ainsi que la robustesse de la démonstration de sûreté.

#### Evolutions des cœurs et des gestions de combustible

Les principales évolutions portant sur la composition des cœurs des réacteurs sur la période 2010 - 2019 ont consisté en :

- une plus grande variabilité des recharges de combustible, en adaptant notamment la proportion d'assemblages de combustible UO<sub>2</sub> ou MOX neufs ;
- l'introduction de grappes en Hafnium dans certains assemblages périphériques pour limiter la fluence sur la cuve ;
- la suspension de l'utilisation de combustible UO<sub>2</sub> issu du retraitement (URT) ;
- la mise en œuvre de la gestion « PARITE MOX NT » visant à augmenter la teneur en plutonium des assemblages MOX ;
- la mise en œuvre, puis l'abandon, de la gestion de combustible « GALICE » à haut taux de combustion.

Certains événements ayant affecté le combustible auraient pu être anticipés ou évités compte tenu du retour d'expérience ou d'améliorations de conception des assemblages de combustible disponibles à l'étranger.

La nécessité de s'appuyer sur le retour d'expérience international du combustible valorisable pour les réacteurs français a fait l'objet de demandes formulées par l'ASN à l'issue du précédent examen du retour d'expérience sur le combustible (période 2003 - 2009). **L'ASN sera attentive aux moyens et évolutions d'organisation qu'EDF s'est engagée à mettre en œuvre afin de tirer profit des enseignements tirés des événements étrangers affectant le comportement du combustible.**

#### Conception et fabrication du combustible

Sur la période 2010 - 2019, les principales évolutions en matière de conception et de fabrication de combustible ont concerné :

- pour les assemblages de combustible conçus par Framatome :

- la généralisation du gainage M5, moins sensible à la corrosion et l'abandon progressif du gainage Zy-4,
  - la mise en œuvre du procédé de recuit final à basse température (RFBT) des ressorts de grilles pour limiter le risque de rupture par corrosion sous contrainte,
  - l'introduction d'un alliage quaternaire (Q12) en tant que matériau de structure des tubes guides pour mieux résister à la déformation latérale des assemblages,
  - l'abaissement de 32 à 21 bars de la pression de remplissage des crayons des assemblages de combustible de 12 pieds au regard du risque de ballonnement de la gaine en situation d'accident de perte de réfrigérant primaire,
  - le soudage par ultrason des bouchons et la lubrification à l'eau des crayons avant leur insertion dans le squelette de l'assemblage pour prévenir les pertes d'étanchéité,
  - l'ajout de cales en acier pour limiter les phénomènes de pics de flux neutroniques aux extrémités des colonnes fissiles des assemblages MOX ;
- pour les assemblages conçus par Westinghouse :
    - l'introduction du gainage « ZIRLO optimisé » moins sensible à la corrosion,
    - la mise en place d'un procédé spécifique de traitement thermique visant à renforcer la robustesse de la grille de maintien en partie basse des assemblages (« P-Grid »).

Le nombre d'incidents de fabrication est resté stable par rapport à la période antérieure. Toutefois, un nombre significatif d'événements anormaux de fabrication a été détecté grâce à la surveillance exercée par EDF sur ses fournisseurs. **L'ASN note la qualité de cette surveillance mais considère que l'efficacité des systèmes qualité de vos fournisseurs doit être améliorée afin de garantir la détection des défauts par les fabricants.**

**Par ailleurs, concernant la détection d'hétérogénéités de concentration en plutonium des pastilles MOX, l'ASN considère qu'EDF doit veiller à l'avancement du plan d'action engagé par MELOX en concertation avec EDF, afin de retrouver une régularité dans la qualité des fabrications, et veiller à son efficacité.**

### Exploitation des cœurs

Le retour d'expérience d'exploitation des cœurs des réacteurs sur la période 2010 - 2019 a montré une baisse significative du nombre d'assemblages déchargés inétanches, ainsi qu'une atténuation sensible du phénomène de déformation latérale des assemblages, par rapport à la période précédente.

Ces progrès résultent des actions d'EDF et de ses fournisseurs pour remédier aux difficultés survenues, notamment en :

- mettant en œuvre les évolutions de conception et de fabrication visant à faire face aux problèmes de fissuration de ressorts de grilles, de faiblesse structurelle des assemblages (tubes guides ou « P-Grid ») ou d'usure vibratoire (fretting),
- définissant et veillant à l'application de dispositions organisationnelles visant à prévenir la présence de corps migrants d'origine exogène dans le circuit primaire (démarche « FME ») ou les incidents de manutention des assemblages de combustible.

**Sur la base de ces constats, l'ASN estime qu'EDF et ses fournisseurs doivent poursuivre leurs efforts pour tendre vers un objectif d'aucune fuite d'assemblage de combustible.**

L'ASN note qu'EDF continue à travailler pour identifier les causes de défaillances de combustible et déployer de nouvelles conceptions de combustible sur la base des programmes expérimentaux d'irradiation.

Toutefois, compte tenu du nombre important d'évènement anormaux résultant de phénomènes parfois nouveaux et inattendus, l'ASN estime qu'il convient qu'EDF reste vigilante vis-à-vis du comportement du combustible en réacteur, comme l'illustre des évènements récents :

- l'endommagement de la grille inférieure de maintien des assemblages de combustible de conception Westinghouse dans plusieurs réacteurs ;
- la corrosion accélérée du matériau M5 de gainage des crayons de combustible ;
- les dépôts de corrosion de type « CRUD » sur les gaines de crayons de combustible de réacteurs ayant procédé au remplacement d'un générateur de vapeur.

**Ce dernier évènement montre l'importance de la mise en œuvre de conditions d'exploitation favorables à l'intégrité des gaines de combustible, notamment dans les situations complexes de redémarrage après un arrêt long de réacteur ou de montée en puissance lente.**

### Surveillance du combustible

Au cours de la période 2010 - 2019, le retour d'expérience du comportement du combustible en exploitation s'est enrichi, notamment grâce à des programmes d'action de contrôle consistant à réaliser des mesures d'épaisseur d'oxyde de la gaine des crayons de combustible, de relâchement des gaz de fission dans les crayons ou de déformation des composants des assemblages.

Toutefois, le retour d'expérience a montré que certains évènements récents (corrosion accélérée d'assemblages à gainage M5) auraient pu être détectés plus précocement à partir d'inspections télévisuelles des assemblages de combustible irradiés mieux adaptées, en particulier du point de vue des conditions d'éclairage et de la performance des matériels d'inspection télévisuels ainsi que du point de vue organisationnel (spécification des attendus et surveillance des actions sous-traitées). L'ASN note l'engagement d'EDF d'améliorer la qualité de ces examens télévisuels ainsi que l'organisation mise en place pour identifier les assemblages potentiellement inétanches lors du déchargement du cœur, y compris en améliorant ses interfaces avec ses sous-traitants.

### Programme expérimentaux

L'ASN note l'aboutissement des programmes d'irradiation expérimentaux engagés lors de la période précédente et la mise en œuvre de nouveaux programmes.

Les résultats de ces programmes permettent de vérifier le comportement du combustible en cœur et l'atteinte d'objectifs de sûreté, de fiabilité et de performance.

À cet égard, l'ASN relève qu'EDF a prévu d'engager l'étape de qualification en réacteur des assemblages conçus par Framatome à structure renforcée « GAIA » pour les réacteurs de 1300 et 1450 MWe et engage des actions vis-à-vis de l'utilisation à terme de combustibles améliorés.

## Démonstration de sûreté

Au cours de la période 2010 - 2019, la démonstration de sûreté a fait l'objet d'évolutions notables, notamment pour prendre en compte l'état réel des combustibles, l'état des connaissances concernant le comportement du combustible et les évolutions de méthodes d'étude. Des outils de calcul scientifiques ont également été développés.

Alors que la démonstration de sûreté était historiquement fondée sur la base d'une unique conception d'assemblage (dit assemblage de référence) et de plans de chargement théoriques, en prenant des marges vis-à-vis des critères de sûreté ou en retenant des hypothèses conservatives pour tenir compte des différences avec un éventuel cas réel plus pénalisant, les évolutions apportées ont notamment visé à prendre en compte l'état réel du combustible et de la composition des cœurs dans les réacteurs. Ainsi, les cœurs « mixtes » constitués d'assemblages de combustible de plusieurs types, les variations de recharges de combustible ou les déformations d'assemblages sont maintenant intégrés à la démonstration de sûreté.

Par ailleurs, un important travail de révision des critères techniques liés au comportement du combustible en situations accidentelles, de définition de nouveaux modèles relatifs au comportement thermomécanique du combustible et de développement d'une nouvelle corrélation de flux critique a été réalisé.

Ces différentes actions renforcent la démonstration de sûreté des réacteurs.

**Pour ce qui concerne l'applicabilité de la corrélation de flux critique permettant d'apprécier le risque de crise d'ébullition, l'ASN considère qu'il est important que celle-ci soit validée sur la base d'essais représentatifs des conditions des réacteurs dans l'ensemble des situations de fonctionnement où elle est nécessaire.**

À cet égard, l'ASN rappelle qu'afin de valider les corrélations de flux critiques en vigueur :

- elle a prescrit, dans le cadre du quatrième réexamen périodique des réacteurs de 900 MWe, la réalisation d'essais représentatifs d'assemblages déformés à l'échéance de fin 2023 ;
- EDF s'est engagée, dans le cadre des suites de ce même réexamen, à réaliser des essais représentatifs des assemblages « RFA MOX » de longueur 12 pieds, à l'échéance de 2025.

Au vu des conclusions de l'instruction et de l'avis du groupe permanent d'experts pour les réacteurs nucléaires, **l'ASN considère que la prise en compte par EDF du retour d'expérience du comportement du combustible dans les réacteurs à eau sous pression est satisfaisante. Les évènements intervenus récemment en France doivent toutefois conduire EDF à faire preuve d'une vigilance soutenue concernant le comportement du combustible en réacteur.**

L'instruction a mis en évidence des possibilités d'amélioration. L'ASN prend note des actions que vous vous êtes engagé à mener en ce sens dans votre courrier en référence [4].

Je vous prie d'agréer, Monsieur le directeur, l'expression de ma considération distingu e.

Le directeur général adjoint

*Signé*

**Julien COLLET**