



Fontenay-aux-Roses, le 16 mai 2023

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2023-00068

Objet : EDF – REP – Centrale nucléaire du Bugey – INB 78 et 89
Demande de modification notable du RDS et des RGE soumise à autorisation
Rechargement d'assemblages de combustible à 32 bars hors positions protégées

Réf. : [1] Saisine ASN – CODEP-DCN-2023-025638 du 11 mai 2023.
[2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2014-004499 du 19 février 2014.
[3] Lettre ASN – CODEP-DCN-2014-033448 du 23 juillet 2014.

Conformément à la demande formulée par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a examiné l'acceptabilité, au plan de la sûreté, de la demande de rechargement d'assemblages de combustible UO₂ à gainage Zircaloy 4 (Zy-4) ou M5 avec une pression de remplissage des crayons de 32 bar à des positions dans le cœur différentes de celles prévues par la gestion de combustible CYCLADES¹ à l'état VD4² (c'est-à-dire en dehors des positions dites protégées³ définies dans le rapport de sûreté (RDS)). Cette demande porte sur un cycle d'irradiation dans les réacteurs n° 2 (cycle 36), n° 3 (cycle 34), n° 4 (cycle 36) et n° 5 (cycle 34) du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) du Bugey.

1. CONTEXTE

Les assemblages de combustible de référence pour les réacteurs du CNPE du Bugey, exploités en gestion de combustible CYCLADES à l'état VD4, sont constitués par des crayons de combustible UO₂ à gainage M5 avec une pression de remplissage de 21 bar ou 16 bar⁴. Toutefois, dans le cadre de l'utilisation d'assemblages de combustible en réserves de gestion, des assemblages de combustible à gainage Zy-4 ou M5 avec une pression de remplissage des crayons de 32 bar peuvent être rechargés, uniquement à des positions en périphérie du cœur pour lesquelles des grappes en hafnium sont insérées (appelées « positions protégées »).

¹ CYCLADES : Cycle Combustible Long pour Augmenter la Disponibilité par Evaluation de Sûreté.

² Quatrième visite décennale : état technique en vigueur.

³ Il s'agit des 12 positions en bout de médianes en périphérie de cœur, accueillant des grappes en hafnium conduisant ainsi à une sollicitation neutronique moindre (inférieure au moins de 40 % de celle des assemblages de combustible pénalisants retenus pour les études).

⁴ Afin de répondre à une demande de l'ASN relative à la nouvelle méthode d'étude de l'accident de perte de réfrigérant primaire (APRP), EDF a abaissé de nouveau la pression de remplissage des crayons de combustible à une pression de 16 bar permettant un gain de marge dans les études APRP.

Afin de reconstituer un nombre suffisant d'assemblages de combustible à gainage M5 (pressurisés à 21 et 16 bar) en réserves de gestion CYCLADES à l'état VD4, EDF souhaite pouvoir recharger des assemblages de combustible irradiés à gainage Zy-4 ou M5 à pression de remplissage des crayons égale à 32 bar sur les quatre réacteurs du CNPE du Bugey en dehors des positions protégées. Ainsi, EDF a fourni des éléments de justification relatifs aux modes de fonctionnement normal, incidentel et accidentel des réacteurs. La démarche adoptée par EDF consiste, d'une part à justifier l'applicabilité des conclusions du RDS CYCLADES à l'état VD4, d'autre part à reprendre les études de la démonstration de sûreté affectées par l'ajout d'assemblages de combustible avec une pression de remplissage des crayons de 32 bar en dehors des positions protégées.

L'ASN souhaite ainsi recueillir l'avis de l'IRSN sur l'acceptabilité, sur le plan de la sûreté nucléaire, du rechargement d'assemblages de combustible UO₂ à gainage Zy-4 ou M5 avec une pression de remplissage des crayons de 32 bar en dehors des positions protégées du cœur, et ce pour un cycle d'irradiation dans les réacteurs n° 2 (cycle 36), n° 3 (cycle 34), n° 4 (cycle 36) et n° 5 (cycle 34) du CNPE de Bugey.

Afin de répondre à la demande de l'ASN, l'expertise de l'IRSN a porté sur :

- la justification de sûreté relative au fonctionnement normal et incidentel (§2) ;
- la justification de sûreté relative au fonctionnement accidentel (§3) ;
- la démarche d'évaluation de sûreté de la recharge pour les plans de chargement prévisionnels (§4).

Les conclusions de cette expertise sont présentées dans les paragraphes suivants.

2. JUSTIFICATION DE SÛRETÉ RELATIVE AU FONCTIONNEMENT NORMAL ET INCIDENTEL DES RÉACTEURS

La justification de la conception thermomécanique des crayons de combustible consiste à démontrer le respect des critères qui garantissent l'intégrité de ces crayons, en fonctionnement normal et incidentel. Cette justification repose sur la modélisation du comportement des crayons de combustible à l'aide d'outils de calcul scientifiques (OCS). Ces modélisations prennent en compte les caractéristiques géométriques des crayons de combustible, les propriétés thermomécaniques et physico-chimiques des matériaux, ainsi que les conditions de fonctionnement des réacteurs.

Concernant les crayons de combustible UO₂ à gainage Zy-4 avec une pression de remplissage de 32 bar, la justification thermomécanique avait été démontrée en considérant les données et hypothèses du référentiel de sûreté CYCLADES à l'état VD3. Dans la mesure où certaines données et hypothèses n'ont pas évolué entre les référentiels de sûreté à l'état VD3 et VD4, et que d'autres feront l'objet d'une vérification dans le cadre de la démonstration de sûreté en recharge des réacteurs du CNPE de Bugey, EDF considère que les critères de conception sont respectés en fonctionnement normal. En situation incidentelle, certaines données neutroniques étant plus pénalisantes dans le référentiel VD4, EDF a apporté des éléments justifiant le respect des critères pour les quatre cycles concernés des réacteurs du CNPE de Bugey. **L'IRSN estime acceptable la justification apportée par EDF relative au comportement thermomécanique des crayons de combustible UO₂ à gainage Zy-4 avec une pression de remplissage de 32 bar pour le fonctionnement normal ou incidentel dans le référentiel de sûreté CYCLADES à l'état VD4.**

Concernant les crayons de combustible UO₂ à gainage M5 avec une pression de remplissage de 32 bar, la démarche d'EDF repose sur une analyse comparative entre les résultats de calculs thermomécaniques réalisés pour :

- les crayons avec une pression de remplissage de 21 bar à l'état VD3 et VD4 ;
- les crayons avec une pression de remplissage de 32 bar avec les données et hypothèses à l'état VD3.

De cette analyse, il ressort que la pression de remplissage des crayons à gainage M5 a un effet négligeable sur les marges aux critères à l'exception de la pression interne du crayon. Toutefois, la marge au critère de pression

interne reste importante. **L'IRSN considère qu'EDF a apporté la démonstration du respect des critères pour le fonctionnement normal et incidentel des réacteurs n° 2 (cycle 36), n° 3 (cycle 34), n° 4 (cycle 36) et n° 5 (cycle 34) du CNPE de Bugey dans le référentiel de sûreté CYCLADES à l'état VD4, ce qui est satisfaisant.**

L'étude du RDS évaluant le risque de rupture de la gaine de crayon de combustible par interaction entre la pastille et la gaine⁵ (IPG) détermine la durée maximale autorisée dans les spécifications techniques d'exploitation (STE) pour un fonctionnement prolongé à puissance intermédiaire (FPPI), ce mode de fonctionnement étant défavorable vis-à-vis de ce risque. À l'état VD4, l'étude est réalisée en considérant :

- des assemblages à gainage M5, ce qui est favorable vis-à-vis du risque IPG par rapport au gainage Zy-4 ;
- une pression de remplissage de 16 bar, ce qui est défavorable vis-à-vis du risque IPG par rapport à la pression de 32 bar.

À défaut de calculs explicites, EDF prévoit de limiter forfaitairement à huit jours la durée de FPPI sur l'ensemble du cycle d'irradiation de chacun des quatre réacteurs du Bugey. Cette durée de FPPI est fortement diminuée par rapport à celles déterminées à partir des STE de la gestion de combustible CYCLADES à l'état VD4. **L'IRSN estime cette limitation satisfaisante.**

3. JUSTIFICATION DE SÛRETÉ RELATIVE AU FONCTIONNEMENT ACCIDENTEL DES RÉACTEURS

Le rechargement d'assemblages à pression nominale 32 bar à gainage Zircaloy 4 ou M5 dans d'autres positions que celles actuellement autorisées dans les réacteurs du CNPE de Bugey a conduit EDF à réviser la démonstration de sûreté pour les transitoires d'accident d'éjection d'une grappe de contrôle (EDG) et de perte de réfrigérant primaire par brèche intermédiaire (APRP BI).

Accident d'éjection de grappe

Le gainage en alliage Zy-4 est sensible au phénomène de corrosion et de desquamation⁶ intervenant au cours de l'irradiation des crayons. La desquamation de la couche d'oxyde en fonctionnement normal peut conduire à l'altération de la tenue mécanique de la gaine lors des transitoires accidentels d'insertion de réactivité, notamment lors de l'EDG qui est le transitoire le plus pénalisant.

Depuis 2014, des dispositions compensatoires en exploitation de nature à limiter les possibilités d'apparition ou les conséquences d'un transitoire d'EDG sont mises en œuvre par EDF pour les réacteurs concernés, objets des courriers de l'ASN en références [2][3]. En pratique, la manœuvrabilité du réacteur est réduite dès l'atteinte d'un seuil de 80 µm d'épaisseur d'oxyde externe en cours de cycle d'irradiation. Aussi, le cycle est arrêté lorsque l'épaisseur d'oxyde maximale atteint 108 µm. Ces dispositions sont reconduites dans le référentiel de sûreté CYCLADES à l'état VD4, dès lors que les assemblages de combustible à gainage Zy-4 sont positionnés en bout de médianes. Pour les cycles d'irradiation dans les réacteurs n° 2 (cycle 36), n° 3 (cycle 34), n° 4 (cycle 36) et n° 5 (cycle 34) du CNPE de Bugey, EDF prévoit de reconduire les dispositions d'exploitation précitées. De plus, EDF a apporté la justification de l'applicabilité du modèle de corrosion ayant permis de définir l'atteinte des seuils d'épaisseur d'oxyde de 80 µm ou de 108 µm. **L'IRSN estime satisfaisante la justification relative à la tenue des**

⁵ Ce risque est à considérer dès lors que le contact entre la pastille et la gaine d'un crayon de combustible est établi (jeu fermé). S'il n'y a pas de risque de rupture de gaine en fonctionnement normal, celui-ci apparaît dès lors que le crayon de combustible subit de fortes augmentations de puissance, la gaine étant alors sollicitée en traction. L'intégrité des gaines des crayons de combustible doit être démontrée pour les conditions de fonctionnement normal et incidentel.

⁶ La desquamation correspond au phénomène d'écaillage de la couche d'oxyde en surface externe de la gaine à partir de l'atteinte d'une certaine épaisseur de couche.

crayons de combustible UO₂ à gainage Zy-4 avec une pressurisation des crayons de 32 bar lors d'un transitoire d'EDG dans le référentiel de sûreté CYCLADES à l'état VD4.***Accident de perte de réfrigérant primaire par brèche intermédiaire (APRP BI)***

Pour ce qui concerne la phase court terme de l'accident d'APRP BI, la démonstration de sûreté présentée dans le RDS CYCLADES à l'état VD4 considère des crayons de combustible à gainage M5 avec une pression de remplissage de 21 bar. EDF a alors réalisé une étude spécifique pour les assemblages de combustible à gainage Zy-4 avec une pression de remplissage de 32 bar. Cette étude repose sur la méthode dite « CathSBI⁷ » mise en œuvre dans le référentiel de sûreté CYCLADES à l'état VD4, mais qui intègre des modifications afin de l'adapter aux caractéristiques des assemblages de combustible susmentionnés.

S'agissant des données neutroniques, EDF considère des données enveloppes des cycles d'exploitation des quatre réacteurs du CNPE du Bugey. Le respect de ces enveloppes sera notamment vérifié en recharge (cf. §4). De plus, EDF retient la valeur maximale du déséquilibre azimuthal de puissance entre quadrants (ou « tilt ») mesurée en exploitation sur les réacteurs en gestion de combustible CYCLADES, inférieure à celle considérée dans les études du RDS. EDF modifie, en cohérence, la valeur du critère de surveillance du tilt définie dans les règles d'essais physiques au redémarrage (REPR) et en cours de cycle (REPC)⁸ pour les cycles d'irradiation dans les quatre réacteurs du CNPE du Bugey. **Ces éléments n'appellent pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Concernant la modélisation relative au gonflement de la gaine en transitoire d'APRP BI, EDF a adapté le modèle défini pour un autre gainage en alliage à base de Zirconium au gainage Zy-4. Cette adaptation comporte notamment une pénalisation pour calculer la déformation circonférentielle de la gaine au cours du transitoire et *in fine* évaluer les risques associés au phénomène de gonflement de la gaine. Au cours de l'expertise, EDF a fourni des éléments justificatifs permettant de quantifier la surestimation de la déformation circonférentielle de la gaine en Zy-4 et de vérifier le respect des critères de sûreté relatifs à l'APRP BI. **L'IRSN estime ces éléments satisfaisants.**

Concernant les assemblages de combustible UO₂ à gainage M5 avec une pression de remplissage des crayons de 32 bar, EDF a apporté une justification du respect des critères relatifs au transitoire d'APRP BI sur la base d'une analyse de l'impact du matériau de gainage sur le comportement en déformation circonférentielle de la gaine, en comparant les alliages Zy-4 et M5. En effet, EDF a montré que le gainage en M5 est plus favorable par rapport au gainage en Zy-4 vis-à-vis de la déformation circonférentielle de la gaine. Ainsi, EDF conclut que les conclusions de l'étude spécifique réalisée par EDF pour le gainage Zy-4 ne sont pas mises en cause, **ce que l'IRSN estime satisfaisant.**

En conclusion, l'IRSN estime qu'EDF a apporté la démonstration du respect des critères de sûreté en transitoire d'APRP BI pour les quatre cycles des réacteurs du CNPE du Bugey avec des assemblages de combustible UO₂ à gainages Zy-4 ou M5 avec une pressurisation des crayons de 32 bar dans le référentiel de sûreté CYCLADES à l'état VD4.

⁷ Cathare Statistique Brèches Intermédiaires.

⁸ Le programme d'essais physiques au redémarrage et en puissance permet, d'une part de vérifier la conformité du cœur à travers les mesures des paramètres représentatifs du comportement neutronique, d'autre part de calibrer l'instrumentation nucléaire utilisée pour la surveillance et la protection du cœur.

4. DÉMARCHE D'ÉVALUATION DE SÛRETÉ DE LA RECHARGE POUR LES PROCHAINS CYCLES DU CNPE DE BUGEY

L'évaluation de sûreté de la recharge réalisée par EDF repose sur les calculs de « paramètres clés⁹ » qui permettent de s'assurer que les caractéristiques de la recharge respectent les hypothèses prises en compte dans les études d'accidents du RDS, ou bien que la recharge est moins pénalisante que les recharges théoriques considérées dans le RDS. Cette démonstration fait l'objet du dossier spécifique de l'évaluation de sûreté de la recharge (DSS) transmis par EDF pour chaque nouvelle recharge.

Compte tenu des spécificités de certaines études de sûreté pour les quatre cycles des réacteurs du CNPE du Bugey, EDF a prévu de procéder à des vérifications complémentaires dans les DSS incluant des adaptations de valeurs limites de certains paramètres clés pour les crayons de combustible avec une pressurisation des crayons de 32 bar. **Pour l'IRSN, ces vérifications sont satisfaisantes sur le principe.**

5. CONCLUSION

À l'issue de l'expertise des éléments présentés par EDF, l'IRSN estime satisfaisant, sur le plan de la sûreté, la demande de rechargement d'assemblages de combustible à gainage Zircaloy-4 ou M5 avec une pression de remplissage des crayons de 32 bar à des positions différentes de celles définies en gestion de combustible CYCLADES à l'état VD4 pour un cycle d'irradiation dans les réacteurs n° 2 (cycle 36), n° 3 (cycle 34), n° 4 (cycle 36) et n° 5 (cycle 34) du CNPE du Bugey.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Hervé BODINEAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

⁹ Ces paramètres clés sont chacun associés à une valeur limite et sont définis tels que le respect de cette limite soit suffisant pour s'assurer que la recharge respecte les hypothèses prises en compte dans les études d'accidents génériques.