

Fontenay-aux-Roses, le 16 décembre 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00236

Objet : Réacteurs électronucléaires EDF – Réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B – Cycle 19 - Corrosion du gainage en alliage M5 des assemblages de combustible – Modifications des mesures compensatoires

Réf. : [1] Saisine ASN – CODEP-DCN-2022-058982 du 2 décembre 2022.
[2] Avis N° 2021-00151 du 6 août 2021.
[3] Avis N° 2021-00154 du 20 août 2021.
[4] Lettre ASN CODEP-DCN-2021-042479 du 7 septembre 2021.
[5] Avis IRSN N° 2022-00105 du 13 mai 2022.
[6] Avis IRSN N° 2022-00204 du 26 octobre 2022.

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, des conditions de redémarrage du réacteur n° 2 du centre nucléaire de production d'électricité (CNPE) de CHOOZ B, concerné par le phénomène de corrosion accélérée des gaines de combustible en alliage M5, pour le cycle 19.

1. CONTEXTE

En février 2021, lors du déchargement du combustible à l'issue du cycle 18 du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B (réacteur du palier N4), EDF a observé une corrosion excessive sur un nombre important de crayons de combustible à gainage en alliage M5. Cette corrosion anormalement élevée, localisée en partie haute des assemblages de combustible, a conduit à une desquamation¹ de la couche de zircone formée en surface externe des gaines de combustible.

En avril 2021, un phénomène similaire de corrosion accélérée et de desquamation a été observé sur certains assemblages lors du déchargement du combustible à l'issue du cycle 17 du réacteur n° 2 du CNPE de Civaux (réacteur du palier N4).

En mai 2021, ce même phénomène de corrosion, mais sans desquamation de la couche zircone, a été observé sur certains assemblages lors du déchargement du combustible à l'issue du cycle 22 du réacteur n° 3 du CNPE de Cattenom (réacteur du palier 1300 MWe).

¹ La desquamation correspond à la perte localisée d'une partie de la couche d'oxyde se formant à la surface de la gaine de combustible au cours de l'irradiation.

Dans ce contexte, EDF a déclaré, en juillet 2021, un évènement significatif pour la sûreté (ESS) à caractère générique portant sur le réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B, le réacteur n° 2 du CNPE de Civaux et le réacteur n° 3 du CNPE de Cattenom.

Les analyses réalisées par EDF, tout d'abord sur le réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B, puis sur le réacteur n° 3 du CNPE de Cattenom, ont permis d'attribuer ce phénomène à une origine intrinsèque liée à la fabrication des gaines de combustible en alliage M5 incriminées (leur faible teneur en fer²) et à l'occurrence d'un régime d'ébullition nucléée favorisant l'apparition d'un milieu oxydant en partie haute des assemblages. Les conditions de fonctionnement des réacteurs du palier N4 sont à cet égard plus propices à la formation d'ébullition nucléée que celles des réacteurs du palier 1300 MWe.

EDF a ainsi défini des mesures compensatoires relatives, d'une part au rechargement du combustible³, et d'autre part à l'exploitation des réacteurs⁴.

En août 2021, l'IRSN s'est positionné favorablement sur l'exploitation des réacteurs du palier N4 et de 1300 MWe concernés par le phénomène de corrosion accélérée des gaines des crayons de combustible en alliage M5. Il a notamment estimé acceptable, au plan de la sûreté, le redémarrage du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B pour le cycle 19 [2] ainsi que celui du réacteur n° 3 du CNPE de Cattenom pour le cycle 23 [3] compte tenu de la stratégie retenue par EDF, relative à la sélection des assemblages pouvant être rechargés, et des mesures compensatoires d'exploitation prévues.

Au cours de l'année 2022, en réponse aux demandes de l'ASN [4], EDF a apporté des compléments relatifs à la compréhension des phénomènes physiques et physico-chimiques mis en jeu et à l'analyse du retour d'expérience acquis à l'international et sur le parc électronucléaire français. Ces compléments ont par ailleurs conduit à un assouplissement des mesures compensatoires pour les réacteurs des paliers 900 MWe et 1300 MWe [5].

Concernant le réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B, pour le cycle 19, EDF a composé le cœur d'assemblages dont les épaisseurs d'oxyde garantissaient l'absence de desquamation au cours du cycle en considérant le fonctionnement du réacteur à 92,6 % de sa puissance nominale⁵, requis au titre des mesures compensatoires applicables à ce réacteur [2].

Toutefois, le 17 décembre 2021, après quatre mois de fonctionnement, le réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B a été arrêté à la suite d'un aléa relatif à la corrosion sous contrainte⁶ affectant les coudes du système d'injection de sécurité⁷. Le combustible présent dans le réacteur a été déchargé afin de mener des contrôles et des réparations. À la suite de ces travaux, EDF envisage le retour en fonctionnement du réacteur sans modification du plan de chargement. En outre, EDF requiert le retour du réacteur à sa puissance nominale compte tenu de nouveaux éléments issus de l'expertise d'un crayon de combustible à gainage M5 ayant desquamé lors du

² Les gaines de crayons de combustible les plus affectées par la corrosion accélérée sont issues de coulées présentant une teneur en fer faible, c'est-à-dire proche de la borne inférieure de la spécification de fabrication définie avant cet évènement.

³ La stratégie de sélection des assemblages vise, sur la base des inspections télévisuelles effectuées lors du déchargement du combustible et de mesures d'épaisseur d'oxyde réalisées pour les assemblages les plus affectés, à ne pas recharger ceux présentant un risque de desquamation au cours du cycle suivant.

⁴ Ces mesures consistent par exemple à réduire la manœuvrabilité de certains réacteurs, en fonctionnant avec les grappes aussi extraites que possible pour limiter les conséquences du transitoire accidentel d'éjection de grappe au regard du risque de rupture de crayons de combustible desquamés, et à augmenter la teneur en hydrogène du fluide primaire afin de réduire au mieux la présence d'espèces oxydantes.

⁵ La puissance maximale du réacteur est limitée afin de réduire le phénomène d'ébullition nucléée en partie haute des gaines de combustible, qui constitue une des causes principales de la corrosion accélérée, dans la mesure où le cycle précédent présentait de nombreux assemblages desquamés.

⁶ La corrosion sous contrainte est un mode d'endommagement qui résulte généralement de l'action conjuguée d'une contrainte mécanique et d'un milieu agressif vis-à-vis du matériau.

⁷ Le système d'injection de sécurité est un circuit de sauvegarde qui permet d'injecter de l'eau dans le circuit primaire. Il contribue à la maîtrise des situations accidentelles et permet d'en limiter les conséquences.

cycle 18 du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B et d'une révision de la démonstration de sûreté associée à la poursuite du cycle 19.

L'IRSN s'est déjà positionné dans son avis [6] sur le programme d'essais physiques à réaliser en vue du redémarrage de ce réacteur consécutif à son déchargement puis à son rechargement à l'identique en cours de cycle.

Par la saisine en référence [1], l'ASN souhaite recueillir l'avis de l'IRSN sur l'acceptabilité, au plan de la sûreté, de la poursuite de l'exploitation du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B pour son cycle 19 en supprimant la mesure compensatoire consistant à limiter le fonctionnement du réacteur à 92,6 % de sa puissance nominale. En particulier, l'ASN sollicite l'avis de l'IRSN sur les points suivants :

- les premiers résultats de l'expertise, toujours en cours, d'un crayon de combustible à gainage M5 desquamé ;
- la mise à jour de la démonstration de sûreté ;
- la possibilité de fonctionner à 100 % Pn conformément au dossier spécifique d'évaluation de la sûreté prévisionnel de la recharge.

L'avis de l'IRSN sur ces différents points est présenté ci-après.

2. PREMIERS RÉSULTATS DE L'EXPERTISE D'UN CRAYON DE COMBUSTIBLE À GAINAGE M5 DESQUAMÉ

EDF a transmis, fin 2022, les premiers résultats issus des analyses métallographiques⁸ réalisées sur un crayon de combustible à gainage M5 fortement corrodé et partiellement desquamé à l'issue du cycle 18 du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B. Il en ressort que :

- les mesures d'épaisseur d'oxyde issues de ces analyses métallographiques confirment celles initialement réalisées à l'issue du cycle 18 sur ce crayon ;
- la desquamation de la couche d'oxyde ne s'accompagne pas de la formation d'amas d'hydrures fragilisants pouvant conduire à la rupture de la gaine lors d'un transitoire de puissance. Ce constat est cohérent avec le retour d'expérience acquis à l'international et valorisé par EDF [2].

En conséquence, l'IRSN estime qu'EDF a apporté des premiers éléments probants permettant d'exclure le risque de rupture de gaine d'un crayon de combustible à gainage M5 desquamé lors d'un transitoire de puissance.

L'IRSN souligne toutefois que d'autres analyses sont en cours sur ce crayon et que d'autres crayons seront expertisés en 2023. Ces analyses visent, d'une part à conforter ces premiers résultats rassurants, et d'autre part à améliorer la compréhension des phénomènes physiques et physico-chimiques mis en jeu.

3. MISE À JOUR DE LA DÉMONSTRATION DE SÛRETÉ

Le phénomène de corrosion accélérée en partie haute des gaines des crayons de combustible en alliage M5 peut avoir plusieurs effets sur le plan de la sûreté :

- fragiliser la gaine et augmenter le risque de perte d'intégrité des crayons de combustible concernés lors de transitoires incidentels ou accidentels de la démonstration de sûreté ;

⁸ Les analyses métallographiques comprennent la préparation d'échantillons métalliques (découpage, polissage, révélation chimique...) et leur observation par imagerie (microscopie électronique à balayage, microscopie optique...) pour déterminer notamment la structure et la répartition des phases.

- mener à la desquamation de la couche de zircone en surface des gaines des crayons de combustible. La desquamation peut, d'une part conduire à une production importante de corps migrants pouvant circuler dans le circuit primaire, et d'autre part avoir un effet sur la démonstration de sûreté, notamment en cas de transitoire d'éjection d'une grappe.

Dans l'avis en référence [2] relatif aux réacteurs du palier N4 et au cycle 19 du réacteur n° 2 de Chooz B en particulier, l'IRSN a estimé satisfaisante l'analyse de l'effet de la corrosion accélérée et d'une éventuelle desquamation sur les études de la démonstration de sûreté. Le risque de desquamation au cours du cycle 19 était alors exclu compte tenu du fonctionnement du réacteur à une puissance n'excédant pas 92,6 % de sa puissance nominale et de la stratégie de sélection des assemblages.

Le retour à un fonctionnement à pleine puissance du réacteur conduit à augmenter l'ampleur du phénomène d'ébullition nucléée en partie haute des gaines de combustible et à accélérer la corrosion des gaines en alliage M5. Dans ces conditions, le risque de desquamation de la couche d'oxyde formée en surface externe des gaines de combustible n'est plus exclu.

Ainsi, EDF a mis à jour la démonstration de sûreté pour la poursuite du cycle 19 du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B. Dans ce cadre, EDF a reconduit la démarche appliquée [2] pour les réacteurs du palier N4 en considérant des épaisseurs d'oxyde de découplage sensiblement augmentées à l'issue de chaque cycle d'irradiation. Les épaisseurs d'oxyde maximales retenues sont enveloppes des épaisseurs maximales mesurées à l'issue du cycle 18 qui avait fonctionné à pleine puissance.

Par ailleurs, l'effet d'une éventuelle desquamation de la couche d'oxyde en surface des gaines de crayons de combustible a été analysé. Pour ce faire, EDF valorise les premiers enseignements de l'expertise d'un crayon desquamé (voir §2), à savoir l'absence de formation d'amas d'hydrures susceptibles de fragiliser la gaine. En conséquence, EDF considère que la desquamation n'est pas de nature à conduire à un risque de rupture de la gaine en transitoire de puissance.

L'IRSN estime qu'EDF a évalué de manière satisfaisante l'effet de la corrosion accélérée et d'une éventuelle desquamation sur les études de la démonstration de sûreté. Les conclusions de ces études ne sont pas mises en cause par les conditions prévues pour la poursuite du cycle 19 du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B.

4. CONDITIONS D'EXPLOITATION ASSOCIÉES À LA POURSUITE DU CYCLE 19 DU RÉACTEUR N° 2 DU CNPE DE CHOOZ B

Compte tenu des résultats de l'expertise d'un crayon de combustible à gainage M5 desquamé et de la mise à jour de la démonstration de sûreté, EDF souhaite poursuivre l'exploitation du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B à sa puissance nominale pour le cycle 19. EDF prévoit ainsi de lever la mesure compensatoire de fonctionnement à une puissance limitée.

Toutefois, les autres mesures compensatoires sont maintenues pour la poursuite du cycle, à savoir :

- le maintien, en prolongation de cycle, de la position recommandée des grappes du groupe de régulation de la température moyenne du circuit primaire définie en fin de campagne naturelle. Cette mesure vise à limiter la puissance en partie haute du cœur et par conséquent le phénomène d'ébullition nucléée ;
- l'augmentation, dans les limites autorisées par les spécifications chimiques, de la teneur en hydrogène du circuit primaire afin de limiter l'apparition d'un environnement oxydant.

Au regard de la démonstration de sûreté satisfaisante et des mesures compensatoires retenues, l'IRSN estime acceptable la poursuite de l'exploitation du cycle 19 du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B avec un retour à sa puissance nominale.

5. CONCLUSION

Le phénomène de corrosion accélérée des gaines des crayons de combustible en alliage M5 a été détecté en 2021 à l'issue du cycle 18 du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B, puis à l'issue du cycle 17 du réacteur n° 2 du CNPE de Civaux et du cycle 22 du réacteur n° 3 du CNPE de Cattenom.

EDF a alors défini des mesures compensatoires pour l'ensemble des réacteurs potentiellement affectés. Pour le réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B, celles-ci comprenaient notamment pour le cycle 19 un fonctionnement à puissance limitée.

Les premiers résultats de l'expertise d'un crayon à gainage M5 fortement corrodé et desquamé au cycle 18 du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B sont, d'une part, probants et rassurants au regard du risque de rupture de gaine lors d'un transitoire de puissance et, d'autre part, cohérents avec le retour d'expérience acquis à l'international. D'autres analyses sont en cours afin de conforter ces premiers résultats rassurants et d'améliorer la compréhension des phénomènes physiques et physico-chimiques mis en jeu.

En outre, l'IRSN estime qu'EDF a évalué de manière satisfaisante l'effet de la corrosion accélérée et d'une éventuelle desquamation sur les études de la démonstration de sûreté en considérant un fonctionnement du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B durant le cycle 19 à sa puissance nominale.

En conséquence, l'IRSN estime acceptable, au plan de la sûreté, la poursuite du cycle 19 du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B avec un retour à sa puissance nominale, les autres mesures compensatoires prévues étant maintenues. En tout état de cause, EDF a confirmé qu'il mettra en œuvre le programme de surveillance prévu à l'issue du cycle 19 afin notamment de vérifier l'efficacité des mesures prises.

Enfin, l'IRSN rappelle que le déploiement de la première recharge d'assemblages à gainage en M5 à teneur en fer augmentée, constituant la mesure corrective qui devrait permettre de résorber le phénomène de corrosion accélérée [2], est prévu pour le cycle 20 du réacteur n° 2 du CNPE de Chooz B.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté