



Fontenay-aux-Roses, le 16 mai 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00108

Objet : EPR de Flamanville : Examen du traitement apporté par EDF à l'écart de sous-performance des échangeurs RRI/SEC.

Réf : [1] Lettre ASN - CODEP-DCN-2021-038173 du 24 novembre 2021.
[2] Décision ASN n° 2008-DC-0114 du 26 septembre 2008.

1 CONTEXTE

L'exploitation d'un réacteur nucléaire nécessite l'évacuation de la chaleur produite par le réacteur et ses équipements en toutes situations de fonctionnement. Cette fonction de sûreté s'appuie notamment sur la chaîne d'eau de refroidissement composée du système de refroidissement intermédiaire des systèmes auxiliaires du réacteur (RRI) et du système de refroidissement terminal d'eau brute secourue (SEC).

Pour le réacteur EPR de Flamanville (EPR FA3), les systèmes SEC et RRI sont composés de quatre trains redondants et indépendants les uns des autres. Chaque train SEC est alimenté par une prise d'eau de la station de pompage où la filtration de l'eau de mer est assurée soit par un tambour filtrant (TF) sur les trains 2 et 3, soit par un filtre à chaînes (FAC) sur les trains 1 et 4. Les quatre échangeurs RRI/SEC (refroidissant l'eau du système RRI à partir de l'eau du système SEC) sont de conception identique et possèdent le même requis de performance au titre de la démonstration de sûreté.

Un essai de performance thermique a été réalisé au cours des essais de démarrage sur l'ensemble de la chaîne de refroidissement RRI/SEC du train n°4 de l'EPR FA3. Le résultat de cet essai a mis en évidence une sous-performance de cet échangeur en conditions de fonctionnement normal et accidentel.

À la suite de l'analyse de cet écart, EDF a conclu à une sous-performance généralisée de l'ensemble des échangeurs RRI/SEC de l'EPR FA3 et à la nécessité de proposer une stratégie de résorption qui s'articule en deux phases :

- la première phase consiste à maintenir en l'état ces échangeurs mais avec une modification matérielle (augmentation du diamètre de la roue des pompes du système SEC) et des modifications du référentiel de sûreté (RDS¹ et RGE² notamment) ;

¹ RDS : rapport de sûreté.

² RGE : règles générales d'exploitation.

- la seconde phase, prévue lors de la première visite décennale du réacteur (VD1), consistera au remplacement des échangeurs RRI/SEC pour solder définitivement l'écart.

Pour rétablir les performances visées pour ces échangeurs lors de la seconde phase de résorption de l'écart, une technologie différente d'échangeurs (passage d'une technologie de type échangeurs à tubes à une technologie de type échangeurs à plaques) sera retenue. Ceci aura un impact sur les exigences associées à la chaîne de filtration située en amont des échangeurs RRI/SEC.

Dans ce contexte, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), par la lettre citée en référence [1], sur l'acceptabilité du maintien en l'état des échangeurs RRI/SEC actuels jusqu'à la première visite décennale et sur la suffisance de la modification définitive envisagée. La faisabilité de l'évacuation et du remplacement des échangeurs RRI/SEC actuels par des échangeurs à plaques et l'instruction du dossier d'autorisation de la modification définitive des systèmes RRI et SEC feront l'objet de deux avis ultérieurs, le premier devant être remis avant la mise en service du réacteur et le second après sa mise en service.

2 MAINTIEN EN L'ÉTAT DES ÉCHANGEURS INSTALLÉS JUSQU'À LA PREMIÈRE VISITE DÉCENNALE

La température maximale de la source froide alimentant les échangeurs RRI/SEC a été fixée à 30 °C dans les premières études des transitoires accidentels de référence d'un réacteur EPR (études dites de « basic design »). Par la suite, les études climatiques du site de Flamanville ont montré qu'une température de 26 °C peut être considérée comme enveloppe de la température maximale de la source froide à retenir pour les soixante années d'exploitation du réacteur.

Cette température de 26 °C, qui figure dans la décision de l'ASN citée en référence [2], est bien supérieure à la température maximale de la source froide constatée jusqu'à ce jour sur le site de Flamanville (environ 19 °C). En conséquence, EDF a abaissé la température maximale de la source froide à 22 °C dans ses études de la capacité d'échange RRI/SEC jusqu'à la VD1 en se basant sur une étude climatique valable jusqu'en 2035. Dans le cas où un épisode de canicule conduirait à un dépassement de cette température de 22 °C avant la VD1, une modification des spécifications techniques d'exploitation (STE) prescrira le repli du réacteur. Cette prescription d'exploitation permet de limiter la puissance à évacuer par les échangeurs RRI/SEC et de se conformer à la décision de l'ASN. EDF prévoit également d'augmenter les délais minimaux avant le passage dans certains états d'arrêt fixés par les STE lorsque la température de la source froide est supérieure à 21 °C.

Par ailleurs, EDF prévoit de modifier les pompes centrifuges SEC en remplaçant leurs roues actuelles par des roues de plus grande dimension afin d'augmenter les paramètres hydrauliques du système SEC (débit minimal et pression) et d'améliorer ainsi la capacité d'échange RRI/SEC. EDF prévoit de maintenir cette modification après le remplacement des échangeurs en VD1. EDF a justifié que cette modification ne remet pas en cause la qualification des groupes motopompes SEC. Il propose aussi une surveillance vibratoire renforcée en exploitation, ce qui est un moyen adéquat pour détecter d'éventuelles anomalies. **L'IRSN souligne que les essais de requalification de la modification, qui seront finalisés avant la mise en service du réacteur, devront permettre de vérifier la conformité des groupes motopompes SEC en termes de débit, de pression de refoulement, de puissance électrique absorbée et de niveau vibratoire.**

Enfin, EDF a dégagé des marges dans ses reprises d'études en supprimant certaines simplifications de calcul et en tenant compte de la gestion combustible qui sera réellement mise en œuvre sur l'EPR FA3. Ceci permet notamment de réduire la puissance résiduelle du combustible considérée dans certaines conditions de fonctionnement d'arrêt du réacteur.

La reprise des études de capacité d'échange requise en fonctionnement normal et accidentel tenant compte notamment de l'augmentation du diamètre de la roue des pompes SEC et la modification des STE permettent à EDF de justifier le maintien en l'état des échangeurs RRI/SEC jusqu'à la VD1, en considérant un taux de bouchage maximal de leurs tubes de 2 %³.

Après examen, l'IRSN estime que les dispositions prévues par EDF pour conserver les échangeurs RRI/SEC actuels jusqu'en VD1 sont acceptables. Toutefois, certaines justifications apportées par EDF pour les accidents de perte de réfrigérant primaire et pour les séquences accidentelles avec défaillances multiples (RRC-A) sont fondées sur des argumentaires qui, bien qu'étant recevables, ne permettent pas de quantifier les marges disponibles au regard de la température maximale de refroidissement du circuit RRI devant être respectée en fonctionnement accidentel. **À cet égard, l'IRSN formule les deux premières observations en annexe 2.**

3 SUFFISANCE DE LA MODIFICATION PÉRENNE

3.1 MODIFICATION DES ÉCHANGEURS RRI/SEC

La résorption définitive de l'écart est fondée sur le remplacement en VD1 des échangeurs RRI/SEC actuels (de technologie tubes/calandre) par des échangeurs à plaques. La technologie des échangeurs installés ne peut pas être conservée car l'encombrement des échangeurs à tubes n'est pas compatible avec les chemins d'accès aux locaux. Les échangeurs à tubes existants devront être découpés sur place lors de l'arrêt du réacteur en VD1 pour être extraits de leurs bâtiments avant leur remplacement.

La technologie des échangeurs à plaques de remplacement est modulaire et est constituée d'un assemblage de plaques entre lesquelles circulent les fluides froid et chaud. Cette technologie est celle utilisée sur la plupart des échangeurs RRI/SEC des réacteurs du parc en fonctionnement. EDF possède un large retour d'expérience d'exploitation pour ces échangeurs. Toutefois, l'espacement entre les plaques de circulation de l'eau brute du circuit SEC (4 mm) est plus étroit que le diamètre des tubes des échangeurs actuels (16 mm). Le système de filtration de l'eau brute doit donc être adapté (cf. paragraphe 3.2).

Dans le cadre de l'analyse de l'écart, EDF a identifié les causes de la sous-performance des échangeurs actuels. Elles mettent notamment en évidence le manque de maîtrise de la qualification des codes de calculs thermohydrauliques du fabricant ainsi que l'absence d'essais en usine avant l'expédition sur site.

Pour prendre en compte ce retour d'expérience, EDF a modifié le cahier des charges de ces échangeurs qui spécifie désormais au titulaire du contrat les exigences de qualification que doit satisfaire un outil de calcul scientifique utilisé pour vérifier les exigences requises d'un échangeur. Ce cahier des charges impose également de prendre en compte dans le dimensionnement des échangeurs des incertitudes et des marges sur le coefficient d'échange. La performance de l'échangeur doit ainsi être vérifiée pour le régime dimensionnant à l'état encrassé et à l'état propre. De surcroît, ce cahier des charges précise que le titulaire doit proposer et réaliser un programme d'essais de performance thermohydraulique en usine.

L'IRSN estime qu'EDF a correctement tenu compte des causes de l'écart de sous-performance des échangeurs actuels dans les évolutions apportées à son cahier des charges pour les nouveaux échangeurs RRI/SEC. Les nouvelles spécifications sont désormais fixées de façon suffisamment conservatrice et prudente pour

³ Un bouchage de tubes d'échangeur RRI/SEC peut être réalisé en exploitation en cas de détection de défaut lors de la maintenance. Un taux de bouchage maximal de 2 % des tubes jusqu'à la VD1 a été défini par EDF sur la base du retour d'expérience des échangeurs à tubes RRI/SEC en exploitation sur le parc.

considérer que la modification pérenne des échangeurs RRI/SEC présentera une capacité d'échange suffisante pour la durée de fonctionnement du réacteur EPR FA3.

3.2 ADAPTATION DU SYSTÈME DE FILTRATION

Dossier EDF

La filtration de l'eau brute secourue installée sur l'EPR FA3 repose sur des tambours filtrants ou des filtres à chaînes de grande dimension équipés de panneaux filtrants de maille de 5x5 mm. Lors d'un d'arrêt prolongé du système SEC, des organismes marins ayant traversé ces éléments filtrants peuvent se développer dans les tuyauteries SEC et pourraient colmater ou encrasser l'échangeur au redémarrage de la pompe SEC. C'est pourquoi un filtre, dit « filtre à coquillages », est placé juste en amont des échangeurs RRI/SEC. Sa maille filtrante est actuellement de 6x6 mm. Ce filtre à coquillages dispose d'un système de nettoyage utilisant une partie du débit SEC qui ne participe pas à la fonction de refroidissement. Les études d'accident ne considérant pas cette utilisation d'eau par le système de nettoyage, ce dernier est mis automatiquement à l'arrêt en fonctionnement accidentel pour maximiser le débit traversant l'échangeur RRI/SEC.

Pour les échangeurs de remplacement retenus (échangeurs à plaques), ce système de filtration ne répond pas aux contraintes liées à leur technologie. En effet, la maille de filtration doit correspondre à 50 % de l'espace entre plaques dans le cas d'un fluide présentant des matières en suspension. Compte tenu de la distance entre plaques des échangeurs sélectionnés, la maille de filtration recommandée est au maximum de 2 mm. Pour satisfaire cette exigence, EDF a décidé d'adapter la maille filtrante des filtres à coquillages. Compte tenu de la faible taille de la maille, le fonctionnement du système de nettoyage de ce filtre est requis en cas d'incident ou d'accident. Ce système et son contrôle-commande seront classés de sûreté (classement F1A).

Pour valider son choix, EDF a réalisé un essai sur une période de six mois, de février à août 2021, en réduisant la maille filtrante du filtre à coquillages équipant le train 2 RRI/SEC de l'EPR FA3 (maille de 2x2 mm). Ce filtre modifié a correctement fonctionné sur toute la période d'essai qui a comporté des conditions d'exploitation diversifiées avec une amplitude assez importante des coefficients de marée, une arrivée d'algues importante, des arrêts et mises en service de pompes ainsi que différentes conditions météorologiques. Selon EDF, cet essai a permis de valider le choix du passage à une maille de 2x2 mm pour les filtres à coquillages.

EDF a également réalisé une étude de simulation hydraulique du système SEC (recalée sur des essais en configuration réelle) visant à déterminer les débits maximaux et minimaux qui s'établiront dans le circuit à la suite des différentes modifications envisagées : augmentation du diamètre de la roue des pompes SEC, remplacement des échangeurs à tubes par des échangeurs à plaques et remplacement du filtre à coquillages. Cette étude prend en compte le fait que le nettoyage du filtre à coquillages sera désormais requis en conditions de fonctionnement accidentel. Les résultats de cette simulation montrent que, dans la configuration définitive du circuit SEC, le débit de nettoyage des filtres à coquillages devra être abaissé à 8 % du débit SEC (au lieu de 15 % actuellement) pour respecter le débit minimal requis traversant les échangeurs à plaques.

Le cahier des charges du filtre à modifier à l'échéance de la VD1 prévoit que le titulaire du contrat doit démontrer par des essais de qualification que le filtre est capable d'évacuer l'arrivée simultanée et continue des colmatants sur une période de 3 h, équivalente à une demi-marée (essais réalisés sur boucle d'essai). Des essais sur site de requalification de la solution définitive sont également prévus dans ce cahier des charges mais EDF n'en précise pas la nature et la durée.

Analyse de l'IRSN

L'IRSN souligne que les contraintes de filtration imposées par les échangeurs à plaques de remplacement impliquent de changer la nature des filtres à coquillages. Ces filtres devront alors être capables de filtrer en continu les colmatants de section comprise entre 4 et 25 mm² passant au travers des tambours filtrants ou des

filtres à chaînes. Ils constitueront de fait un second étage de filtration – de surface filtrante très réduite par rapport au premier étage – indispensable au maintien de la capacité d'échange des trains RRI/SEC.

L'IRSN considère satisfaisant le classement de sûreté associé au filtre à coquillages modifié et à son système de nettoyage (classement fonctionnel F1A). L'IRSN estime également satisfaisant qu'EDF se soit appuyé sur des essais sur site dans des conditions représentatives de l'exploitation du réacteur en production pour justifier le choix de la modification des filtres à coquillages et pour recalibrer le modèle hydraulique du circuit SEC. L'épisode d'arrivée de colmatants survenu durant l'essai du filtre modifié permet d'obtenir une raisonnable confiance sur l'adéquation de la solution de filtration au remplacement des échangeurs RRI/SEC.

L'IRSN considère donc acceptable, à ce stade, les éléments apportés par EDF pour justifier l'adéquation de la modification des filtres à coquillages aux exigences de filtration du système SEC équipé d'échangeurs à plaques.

Toutefois, il existe une variabilité importante des colmatants susceptibles d'affecter la station de pompage et le système de filtration. Un essai réalisé sur six mois de fonctionnement ne saurait être totalement représentatif des conditions d'encrassement qui seront susceptibles de se produire sur cinquante années d'exploitation après la mise en service des nouveaux échangeurs. Par ailleurs, l'IRSN rappelle que l'EPR FA3 est le seul réacteur situé en bord de mer du parc EDF équipé d'un premier étage de filtration doté d'une maille de 5x5 mm (les autres réacteurs sont dotés d'une maille de 3x3 mm). Le retour d'expérience des autres réacteurs ne peut donc pas être considéré comme complètement représentatif de l'ensemble des événements qui pourraient se produire sur l'EPR FA3. Aussi, l'IRSN considère que les résultats du programme d'essais de qualification sur boucle défini par EDF – dont les spécifications n'appellent pas de remarque de l'IRSN – seront des éléments nécessaires pour se prononcer sur l'acceptabilité de la solution finalement retenue. Or ces résultats ne seront pas connus lors de la mise en service de l'EPR FA3.

En conséquence, l'IRSN estime qu'EDF devra réaliser ce programme de qualification suffisamment tôt de manière à prendre en compte ses enseignements pour valider la conception du filtre à coquillages qui sera mis en place pour la VD1.

Après cette première étape de validation de la conception des nouveaux filtres à coquillages, la solution définitive devra être requalifiée par un essai fonctionnel sur site. L'IRSN note qu'EDF n'a pas encore défini les conditions de représentativité de cette requalification et souligne que le filtre modifié disposera d'un débit de nettoyage plus faible que le filtre testé pendant six mois de février à août 2021. L'IRSN considère qu'EDF devra définir les conditions de réalisation de cet essai de requalification dans son dossier de demande d'autorisation d'intégration de la modification. **Ce point fait l'objet de la recommandation en annexe 1.**

Enfin, l'IRSN note qu'EDF met en avant dans son dossier de justification du nouveau système de filtration que le bon fonctionnement de la station d'électrochloration et un démarrage régulier des trains SEC en exploitation sont de nature à limiter l'encrassement du système de filtration pouvant se produire en fonctionnement normal ou en début d'un transitoire accidentel. **En conséquence, l'IRSN estime qu'EDF devrait préciser suffisamment tôt les amendements à proposer au référentiel d'exploitation à l'état VD1 afin de garantir des conditions d'exploitation optimales.** Ce point fait l'objet de l'observation n° 3 en annexe 2.

4 CONCLUSION

À l'issue de son expertise, l'IRSN estime acceptable de reporter à la première visite décennale du réacteur le remplacement des échangeurs RRI/SEC actuellement installés sur le réacteur EPR de Flamanville qui présentent une sous-performance par rapport à leurs exigences requises à la conception. Ce report est conditionné par la modification des pompes SEC et par une modification des STE avant la mise en service du réacteur.

En ce qui concerne la modification définitive retenue pour résorber l'écart, l'IRSN considère suffisants les éléments justifiant le dimensionnement des nouveaux échangeurs et estime acceptable, à ce stade, les éléments apportés par EDF pour justifier l'adéquation de la modification retenue des filtres à coquillages aux nouvelles exigences de filtration du circuit SEC. Toutefois, l'IRSN estime que le programme d'essais de qualification sur boucle des filtres à coquillages devra être réalisé de façon suffisamment anticipée pour valider la modification définitive à intégrer lors de la première visite décennale du réacteur. Enfin, l'IRSN estime qu'EDF devra définir les conditions de réalisation de l'essai de requalification sur site de la modification définitive des filtres à coquillages.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Thierry PAYEN

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE 1 À L'AVIS IRSN N° 2022-00108 DU 16 MAI 2022

Recommandation de l'IRSN

L'IRSN recommande qu'EDF définisse, dans le cadre du dossier de modification pérenne des systèmes RRI/SEC, les conditions de représentativité et la durée minimale de l'essai de requalification sur site des nouveaux filtres à coquillages.

ANNEXE 2 À L'AVIS IRSN N° 2022-00108 DU 16 MAI 2022

Observations de l'IRSN

Observation n° 1

L'IRSN considère qu'EDF devrait reprendre, pour le transitoire d'accident de perte de réfrigérant primaire provoqué par une brèche de 390 cm², les calculs de masses et énergies libérées, de pression et de température dans l'enceinte du bâtiment du réacteur avec les données d'entrée du « référentiel VD1 » et en considérant un taux de bouchage des tubes de l'échangeur RRI/SEC de 2 %.

Observation n° 2

L'IRSN considère qu'EDF devrait compléter son dossier d'analyse d'impact de la sous-performance des échangeurs RRI/SEC en considérant le référentiel VD1 et un taux de bouchage des tubes de 2 % pour l'ensemble des transitoires RRC-A utilisés pour définir les profils de qualification en pression et en température des matériels considérés pour la gestion des situations à moyen et long termes.

Observation n° 3

L'IRSN considère qu'EDF devrait préciser les amendements à proposer au référentiel d'exploitation à l'état VD1 afin de garantir une disponibilité satisfaisante de la station d'électrochloration et un démarrage régulier des trains SEC en exploitation.