

Référence courrier :
CODEP-DEP-2022-037594

Monsieur le Directeur
Division Production Nucléaire
Site Cap Ampère
1, place Pleyel
93282 Saint Denis Cedex

Dijon, le 26 juillet 2022

Objet : Découverte de fissures de corrosion sous contrainte sur plusieurs réacteurs du parc, et stratégie associée.

Références : [1] Courrier EDF D455022004385 du 13 juillet 2022
[2] Courrier CODEP-DEP-2022-026625 de l'ASN du 14 juin 2022.

Monsieur le directeur,

En fin d'année 2021, vous m'avez fait part de la découverte de fissures, résultant d'un phénomène de corrosion sous contrainte (CSC), sur les tuyauteries du système d'injection de sécurité (RIS) du circuit primaire principal du réacteur 1 de la centrale de Civaux, puis sur celui du réacteur 1 de la centrale de Penly. Ce type de fissure n'était pas attendu sur ces lignes en acier inoxydable. Cette situation vous a conduit à mettre à l'arrêt les quatre réacteurs de type N4 et à engager des investigations sur l'ensemble de vos réacteurs.

Depuis, en lien régulier avec mes services, vous avez engagé un programme approfondi de contrôle et d'expertise pour faire progresser votre connaissance de ce phénomène et de ses implications à l'échelle du parc. Ce programme vous a conduit à définir et mettre en œuvre une stratégie de contrôle couvrant l'ensemble des types de réacteurs du parc, et à procéder à des découpes des tuyauteries sur un échantillon représentatif de ces réacteurs, les expertises métallurgiques après découpe étant à ce stade le seul moyen de statuer, de manière certaine, sur la présence de défauts de CSC. Cela vous a conduit (au 13 juillet 2022) à réaliser près de 70 expertises en laboratoire de soudures prélevées sur huit réacteurs. Ces expertises sont indispensables pour acquérir un ensemble de connaissances sur les caractéristiques de ces défauts, et des données sur les différents paramètres susceptibles d'être influents vis-à-vis de l'amorçage de fissures de CSC.

Vous avez en parallèle engagé d'importants travaux de développement pour disposer d'un nouveau moyen de contrôle par ultrasons, dit « UT amélioré », dans l'objectif de disposer d'un dispositif de contrôle non destructif apte à détecter des fissures de CSC de petite taille et à mesurer leur profondeur. Vos premiers résultats, rendus possibles par la confrontation des acquisitions réalisées sur des défauts réels avec les données des expertises métallurgiques, sont encourageants. Ils permettent d'envisager sa mise en œuvre à titre d'expertise dans les prochains mois pour réaliser les contrôles prioritaires et consolider les connaissances sur l'extension du phénomène de CSC.

Vos analyses vous ont aussi conduit à formuler une hypothèse sur l'influence des chargements mécaniques dans les lignes. Cela vous conduit à considérer la géométrie et les phénomènes thermohydrauliques dans les lignes comme un facteur déterminant au regard de leur sensibilité à la CSC. Ainsi, dans votre courrier en référence [1], vous proposez un premier classement de la sensibilité des tuyauteries auxiliaires des réacteurs du parc au phénomène de CSC, qui s'appuie sur cette hypothèse et sur l'ensemble des résultats d'expertises disponibles à ce stade. Ce classement identifie en particulier les lignes RIS « branche froide » et RRA « branche chaude » des réacteurs de type N4 et les lignes RIS « branche froide » des réacteurs de type P'4 comme étant les plus sensibles vis-à-vis du phénomène de CSC.

Sur cette base, vous proposez d'abord un programme de contrôle complémentaire d'ici la fin de l'année 2022, par examen non destructif sur les lignes que vous identifiez comme les plus sensibles ainsi que sur celles soumises à requalification en visite décennale. Vous proposez ensuite une stratégie globale de contrôle et de poursuite d'acquisition des connaissances pour les trois années à venir. Cette stratégie globale sera précisée à l'automne pour ce qui concerne l'étendue exacte des contrôles à mener avec l'UT amélioré, ou d'autres procédés de contrôle.

L'ASN considère que les premiers résultats des expertises étaient indispensables au développement de votre stratégie et permettent d'étayer la priorisation des contrôles à venir. Sur la base de l'ensemble de ces éléments, des démonstrations de tenues mécaniques en présence de fissure et des études de sûreté réalisées, l'ASN juge votre stratégie appropriée.

L'ASN considère toutefois que le contrôle proposé lors de l'arrêt de 2024 pour le réacteur 2 de la centrale de Belleville est trop tardif au regard de la sensibilité de ce type de réacteur (P'4).

Les résultats des contrôles et expertises complémentaires prévus en 2022 et dans les années à venir sont susceptibles de faire évoluer les connaissances sur le phénomène de CSC et les facteurs à l'origine de son apparition. Ceci doit vous amener à continuer à considérer votre stratégie comme évolutive, au regard de la compréhension du phénomène, qui à ce stade ne peut être considérée comme complète.

Votre stratégie et les éléments qui l'appuient appellent les remarques et observations figurant en annexe. L'ASN poursuit l'instruction des éléments apportés par votre courrier [1].

Je vous prie d'agréer, Monsieur le directeur, l'assurance de ma considération distinguée.

Le directeur général de l'ASN

Signé par :

Olivier GUPTA

1. Etude de sûreté et dispositions d'exploitation

Vous avez initié un programme de calculs mécaniques sur les lignes RIS et RRA de l'ensemble des types de réacteur. Je prends note de votre engagement de compléter ces calculs pour septembre 2022. Je note aussi que la prise en compte de la découverte d'un défaut de 6,48 mm de profondeur sur une ligne RIS du réacteur 1 de la centrale de Civaux, actuellement à l'arrêt pour expertise, est en cours, cette profondeur de défaut n'étant actuellement pas couverte par les études mécaniques réalisées pour les réacteurs de type N4.

Vous avez également étudié, avec des hypothèses réalistes, les conséquences que la rupture de deux lignes RIS en branche froide pourrait avoir sur la sûreté de vos réacteurs de 900 et de 1300 MWe. Ces études concluent au respect des critères de sûreté définis pour les accidents de perte de réfrigérant primaire. Vous prévoyez de réaliser ces mêmes études pour les réacteurs de type N4 (actuellement à l'arrêt) et pour des ruptures sur le circuit RRA.

Je prends note de votre engagement à réaliser ces études supplémentaires. L'instruction en cours, avec l'appui de l'IRSN, des études transmises ou à venir pourra conduire à des demandes complémentaires.

En parallèle de ces études de sûreté, vous avez déployé des mesures compensatoires d'exploitation pour vos réacteurs en fonctionnement. Ces mesures compensatoires visent à limiter les transitoires qui pourraient conduire à solliciter de manière importante des fissures dues à de la corrosion sous contrainte mais aussi à détecter au plus tôt les fuites qui pourraient survenir au niveau de ces fissures. Des compléments seront prochainement apportés à ces mesures pour prendre en compte le retour d'expérience de leur application et l'expertise menée par l'IRSN. L'application de ces mesures a fait l'objet de vérifications par vos services, et d'inspections par l'ASN. Je vous demande d'analyser les écarts qui ont pu être constatés par l'ASN lors de ces inspections sur différents sites et, le cas échéant, de mettre en œuvre des dispositions pour que des écarts similaires ne soient pas constatés sur d'autres sites.

2. Mise en œuvre de l'UT amélioré

Vous détaillez dans votre courrier [1] les premiers résultats obtenus dans le développement du procédé d'UT amélioré, et l'estimation actuelle de ses performances pour ce qui concerne la détection d'un défaut de CSC, et l'évaluation de sa profondeur.

Vous donnez aussi vos prévisions en termes de capacité de mise en œuvre de ce procédé, avec la mobilisation de dix appareils de mesure à compter de fin août 2022, et de vingt appareils à compter de fin septembre 2022.

Je vous invite à poursuivre au maximum ces efforts de déploiement, notamment en ce qui concerne la formation du personnel nécessaire. Dans la mesure où vous comptez déployer cet UT amélioré dès 2022 sur plusieurs réacteurs en mode expertise, et de manière systématique à compter de 2023, je prends note de votre engagement à poursuivre l'évaluation des performances de ce procédé. Vous vous

appuiez notamment sur la poursuite du programme d'expertises métallurgiques que vous avez défini, dans l'objectif de pouvoir présenter un dossier de justification de performance étayé.

Une mise en œuvre à titre d'expertise est prévue par l'arrêté du 10 novembre 1999 et sa circulaire afin de poursuivre le développement de l'END et d'acquérir les données nécessaires à l'évaluation des performances. Toutefois, les END mis en œuvre devront à terme être qualifiés.

Il conviendra de me préciser l'échéance que vous envisagez pour cette qualification.

3. Sensibilité des lignes, et principes généraux retenus pour la stratégie de contrôle

Vous classez, dans votre courrier [1], les lignes RRA et RIS des différents types de réacteur en fonction de leur sensibilité à l'amorçage de CSC. Votre classement s'appuie à la fois sur le résultat des expertises réalisées après découpe et sur l'hypothèse que vous formulez quant à l'influence de la géométrie des lignes sur les chargements thermomécaniques.

Ce classement, actuellement cohérent avec les résultats des contrôles réalisés sur les réacteurs, est susceptible d'évoluer avec les résultats des contrôles à venir. Je note en particulier les contrôles prévus sur les réacteurs de type P'4, qui permettront de compléter l'échantillon actuel.

Par ailleurs, vous apportez de premiers éléments d'analyse de sensibilité pour les lignes autres que les lignes RIS et RRA, ainsi que pour les lignes RIS et RRA de diamètre inférieur à 10 pouces. Dans le même temps, vous prévoyez de compléter ces éléments par la mise en œuvre d'actions supplémentaires, telles que le développement de moyens de contrôle non destructif adaptés à ces lignes, la réalisation de contrôles sur des pièces déjà déposées, et la réalisation d'expertises après dépose sur des endroits choisis. Les éléments d'appréciation apportés au sujet de ces autres lignes doivent, en effet, être confirmés par des contrôles sur les réacteurs.

Il conviendra, à ce titre, de me préciser les échéances de réalisation de ces actions supplémentaires.

À tous ces égards, le périmètre des contrôles qui seront engagés à compter du 1^{er} janvier 2023 sur les réacteurs du parc, à l'aide de l'UT amélioré ou d'autres procédés d'examen adaptés, devra tenir compte des connaissances relatives à la sensibilité de toutes les lignes, et de leur évolution. Il sera aussi nécessaire qu'il inclue des contrôles sur des lignes considérées comme moins sensibles, pour lesquelles le risque d'amorçage de CSC ne peut pas encore être exclu.

4. Contrôles réalisés sur le parc en 2022 avec l'UT amélioré

Vous vous engagez à mettre en œuvre, sur la seconde partie de l'année 2022, des contrôles à l'aide de l'UT amélioré sur des réacteurs supplémentaires, sur des lignes que vous considérez comme les plus sensibles au risque de CSC. Vous avez notamment tenu compte des précédentes demandes de l'ASN [2] en prévoyant d'effectuer ces contrôles sur le réacteur 2 de la centrale de Penly, qui n'a pas encore fait l'objet du contrôle UT historique, y compris les soudures ayant fait l'objet d'une réparation.

Vous vous êtes également engagé à mettre à profit l'arrêt en cours du réacteur 1 de la centrale de Cattenom pour contrôler la soudure concernée par deux indications détectées avec le procédé UT historique lors des précédentes visites.

Je prends note du périmètre des soudures que vous prévoyez de contrôler sur ces réacteurs de 900 et 1300 MWe. Comme vous l'indiquez, si le programme de contrôle global que vous vous êtes engagé à

présenter à l'automne prévoit d'élargir ce périmètre de contrôle à d'autres lignes, ou d'autres soudures, les réacteurs contrôlés en 2022 devront faire l'objet de contrôles supplémentaires à l'occasion d'un arrêt ultérieur.

Pour les réacteurs de type CPY, les lignes RIS « branche froide » n° 1 ou n° 3 présentent, en fonction des réacteurs, des géométries différentes des autres lignes et ne font pas l'objet de contrôle par ultrason au titre du programme de maintenance préventive historique. Vous indiquez qu'une stratification active n'est pas possible sur ces lignes compte-tenu de leur géométrie, alors que celle-ci est similaire à celles de lignes de réacteurs de type N4 pour lesquelles de la CSC a été détectée.

Il conviendra de justifier l'absence de stratification dans ces lignes. Dans le cas contraire, vous adapterez votre stratégie de contrôle pour ces lignes.

Plus généralement, au regard de l'état des connaissances acquises qui peuvent encore évoluer, vous devez continuer à considérer votre stratégie comme adaptative, en tenant compte des capacités de contrôle disponibles qui doivent d'après vos engagements évoluer rapidement et que l'ASN vous a demandé de mobiliser autant que possible.

5. Cinétique de propagation de la CSC et simulations numériques du soudage.

Dans votre courrier [1], vous évoquez les éléments sur les simulations numériques du soudage que vous avez réalisées, et sur vos estimations de la cinétique de propagation de la CSC.

Le principal résultat des simulations numérique de soudage que vous mettez en avant est l'existence, pour les soudures RIS étudiées, d'une zone de compression proche de la paroi interne, sous l'effet des contraintes résiduelles de soudage. Cette zone de compression est demeurée présente lorsque vous avez étudié un cas de soudure réparée. Les résultats actuels ne permettent cependant pas de statuer sur la position précise, et l'étendue de cette zone de compression, en fonction des paramètres de soudage, de l'intensité des contraintes en service, qui s'ajoutent aux contraintes résiduelles, et des éventuelles réparations.

Vous prévoyez de compléter ces études notamment en transmettant, en décembre 2022, une étude de sensibilité à la CSC en fonction des conditions de soudage et de la présence d'éventuels défauts de fabrication.

S'agissant de la cinétique de propagation d'une fissure de CSC, vous présentez une conclusion selon laquelle une vitesse de propagation de 0,5 mm/an serait enveloppe pour la propagation d'un défaut.

Cette conclusion pose question, pour plusieurs raisons, parmi lesquelles peuvent être citées la grande sensibilité des modèles de propagation actuellement utilisés aux données d'entrée (température, nature et intensité des contraintes résiduelles et des contraintes de fonctionnement, conditions de soudage, écrouissage du matériau, etc.) et le fait que l'évolution d'une fissure de corrosion sous contrainte semble, d'après vos analyses, comporter plusieurs stades entre lesquels la vitesse de propagation est très différente : stade d'amorçage avant propagation, stade de propagation rapide sous l'effet de l'augmentation du facteur d'intensité de contrainte, stade de ralentissement potentiel sous l'effet des contraintes résiduelles de soudage.

Ces points continuent à faire l'objet d'une instruction par l'ASN et pourront donc conduire à des demandes complémentaires.

6. Contrôle de la soudure de raccordement des lignes RIS BF avant réparation

Je prends note de votre engagement à réaliser un contrôle à l'aide de l'UT amélioré du côté tuyauterie inoxydable sur la soudure de raccordement au piquage primaire des lignes RIS BF des réacteurs de type N4 et P'4 en réparation. Vous avez prévu de contrôler à cette occasion la soudure adjacente sur ces lignes.

À l'appui de cette stratégie, vous apportez des arguments tendant à montrer la plus faible sensibilité de la soudure du côté de la ligne primaire principale, en raison de la présence de ferrite dans les composants moulés. Ce point fait l'objet d'une instruction en cours par l'ASN et pourra conduire à des demandes complémentaires.

Enfin, s'agissant plus largement des réparations qui interviendraient après dépose sur des lignes ayant fait l'objet de défauts de CSC, j'attire votre attention sur la nécessité de poursuivre vos travaux d'optimisation des procédés d'assemblage, dans le but de maîtriser au mieux les paramètres influant la CSC et en limiter au maximum le risque de réapparition.