
Phénomène de corrosion sous contrainte (CSC) détecté sur des portions de tuyauteries de circuits auxiliaires du circuit primaire principal de plusieurs réacteurs nucléaires

Note d'information - Mise à jour du 3 novembre 2022

EDF poursuit le traitement du phénomène de CSC

Sur les 10 chantiers lancés cet été, les travaux de réparation liés à la CSC sont terminés sur 6 réacteurs : Tricastin 3, Cattenom 4, Bugey 4, Chinon B3, Civaux 1 et Flamanville 2.

Ils sont en cours sur 4 réacteurs : Penly 1, Civaux 2, Chooz 1 et 2.

Sur le réacteur de Chooz 1, la durée des opérations de réparation est prolongée du fait d'une extension du périmètre des travaux et de la réalisation de contrôles complémentaires.

Les résultats des expertises réalisées sur les réacteurs de Cattenom 1, Cattenom 3 et Penly 2 conduisent à mener des opérations de remplacement de portions de tuyauterie sur ces 3 réacteurs.

Les expertises se poursuivent sur les réacteurs de Golfech 1 et Flamanville 1.

Mise à jour du 21 septembre 2022

Point d'avancement des contrôles et des réparations

EDF poursuit le traitement du phénomène de CSC sur le parc sur les arrêts de réacteurs actuellement en cours. A date, 10 réacteurs à l'arrêt pour maintenance font l'objet de réparations, liées aux expertises réalisées, qui ont nécessité le prélèvement de tronçons de tuyauteries et 5 réacteurs font l'objet de contrôles.

Les opérations de réparation sont en cours sur les réacteurs suivants :

- Chinon 3, à l'arrêt pour expertises CSC : une seule indication de CSC a été localisée sur une soudure, dont la spécificité est d'être initiée par un défaut de soudure. Le défaut ne revêt pas de caractère générique. Des découpes ont été réalisées à des fins d'expertise sur deux circuits, les réparations sont terminées sur un circuit et sont en cours sur le second.
- Bugey 4, à l'arrêt pour expertises CSC et arrêt simple rechargement : aucune indication de CSC n'a été localisée. Les réparations sont en cours.
- Tricastin 3, à l'arrêt pour visite décennale : aucune indication de CSC n'a été localisée. Les réparations sont terminées.
- Cattenom 4, à l'arrêt pour visite partielle : aucune indication de CSC n'a été localisée. Les réparations sont en cours.
- Flamanville 2, à l'arrêt pour rechargement : une indication a été localisée sur une soudure, dont la spécificité est d'être initiée par un défaut de soudure. Les réparations sont en cours. Le défaut ne présente pas de caractère générique.
- Penly 1, à l'arrêt pour visite décennale : des indications de CSC ont été confirmées sur des portions de tuyauteries. Les réparations sont en cours.
- Civaux 1 et Civaux 2, à l'arrêt pour visite décennale et expertises CSC : des indications de CSC ont été confirmées sur des portions de tuyauteries de ces réacteurs. Les réparations sont en cours.

- Chooz 1 et 2, à l'arrêt pour visite partielle et expertises CSC : des indications de CSC ont été confirmées sur des portions de tuyauteries du réacteur n°1. Les réparations sont en cours. Les travaux de dépose des lignes sont en cours sur le réacteur n°2.

Des contrôles et expertises sont menés sur d'autres réacteurs :

- Flamanville 1, à l'arrêt pour rechargement et remplacement des générateurs de vapeur.
- Cattenom 1, à l'arrêt pour visite partielle.
- Golfech 1, à l'arrêt pour visite décennale.
- Penly 2, à l'arrêt pour visite partielle.
- Cattenom 3, à l'arrêt pour contrôles CSC. Des indications de CSC ont été identifiées.

Un événement significatif de sûreté (ESS) générique de niveau 1 a été déclaré auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire pour les réacteurs suivants : Civaux 1, Chooz 1, Penly 1 et Cattenom 3.

EDF poursuit son programme de contrôles et de traitement de la CSC conformément à la stratégie présentée à l'Autorité de sûreté nucléaire en juillet 2022.

Les résultats des contrôles à venir pourront, le cas échéant, conduire à une actualisation de l'ESS et de cette note d'information.

Mise à jour du 27 juillet 2022

Les contrôles, les expertises et les analyses réalisés depuis mai dernier ont permis à EDF de définir un périmètre des réacteurs les plus sensibles à l'apparition du phénomène de CSC, d'identifier la zone spécifique à surveiller dans le cadre des programmes de maintenance et de poursuivre le programme de contrôles sur l'ensemble du parc. Le 26 juillet 2022, l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) a jugé la stratégie d'EDF « appropriée ».

Au total, 84 examens par ressuage sur site et 69 expertises en laboratoire ont été menés depuis l'apparition de cette problématique de corrosion sous contrainte à l'automne 2021, sur des réacteurs représentatifs de tous les paliers du parc nucléaire d'EDF.

Dans l'état actuel de nos connaissances, l'analyse des résultats de l'ensemble des expertises confirme le caractère prépondérant de la géométrie des lignes et nous permet de retenir un classement en différentes familles rappelées ci-dessous :

- des lignes peu ou très peu sensibles à l'apparition de la CSC sur les réacteurs de 900 MW (32 réacteurs) et les réacteurs de 1300 MW de type « P4 » (8 réacteurs) ;
- des lignes du circuit RIS des réacteurs de 1300 MW de type « P'4 » (12 réacteurs) et des circuits RIS et RRA des réacteurs N4 (4 réacteurs) sensibles ou fortement sensibles au phénomène de CSC.

Le programme de contrôles à réaliser sur les réacteurs du parc nucléaire s'appuie donc sur une recherche prioritaire de la CSC sur les paliers N4 et P'4 et sur la délimitation de la zone à contrôler par une soudure frontière. En effet il ressort également des analyses que la portion de tuyauterie dans laquelle apparaît le phénomène de CSC est délimitée par une soudure au-delà de laquelle la CSC ne se développe pas.

Par ailleurs, EDF a complété son analyse de sûreté par la réalisation de calculs de tenue mécanique des tuyauteries en présence de fissures et par des études portant sur sa capacité à arrêter les réacteurs en toute sûreté, y compris en cas de perte hypothétique de 2 des 3 ou 4 lignes des circuits d'injection de sécurité, pour les paliers 900 MW et 1300 MW.

EDF poursuit le développement de nouveaux procédés permettant la réalisation de contrôles non destructifs plus performants pour détecter, discriminer et caractériser un défaut de CSC. Ces procédés sont actuellement mis en œuvre sur des cas spécifiques en mode « expertise », notamment pour les contrôles réalisés sur les réacteurs de 900 MW en visite décennale en 2022.

EDF confirme son ambition de les mettre en œuvre de manière systématique à partir de janvier 2023 et de les intégrer dans sa stratégie de maintenance programmée.

Le calendrier de réalisation de ces contrôles prend en compte la sensibilité des lignes des circuits auxiliaires à l'apparition de la CSC et s'inscrit dans le cadre des arrêts déjà programmés sur les années 2022 à 2025.

Pour les réacteurs 900MW et P4 n'ayant pas fait l'objet de contrôles en 2022 lors de leur visite décennale, les contrôles seront réalisés lors de la première Visite Partielle ou Visite Décennale programmée à compter du 1^{er} janvier 2023.

Pour les réacteurs P'4 ne faisant pas l'objet de contrôles en 2022, ceux-ci seront réalisés lors du premier arrêt programmé à compter du 1^{er} janvier 2023, quel que soit le type d'arrêt (Arrêt pour Simple Rechargement, Visite Partielle ou Visite Décennale). EDF prend acte de la position de l'ASN relative au réacteur de Belleville 2 et étudie une nouvelle programmation des contrôles pour ce réacteur.

Certains arrêts programmés incluant des activités relatives aux contrôles de détection CSC font l'objet d'un commentaire inclus dans les publications REMIT. En effet ces arrêts sont susceptibles de se prolonger en cas de réparation pour des durées totales pouvant atteindre 25 semaines.

Le programme de réparations est désormais engagé.

Les réparations sont terminées sur le circuit auxiliaire RIS de Chinon B3 et vont se poursuivre sur le circuit RRA de ce réacteur. Par ailleurs, le chantier de remplacement des lignes RIS a commencé sur le réacteur de Civaux 1.

EDF confirme la disponibilité des pièces de rechange dans les délais annoncés.

Les formations et les entraînements spécifiques des équipes de soudage se poursuivent, afin de garantir une haute qualité de réalisation des réparations.

EDF prépare un programme à plus long terme de compréhension fine de l'apparition et du développement de la CSC sur les tuyauteries des circuits auxiliaires.

**8 réacteurs de 1300 MW dits P4 : Paluel (4 réacteurs), Flamanville (2 réacteurs), Saint-Alban (2 réacteurs)*

***12 réacteurs de 1300 MW dits P'4 : Belleville (2 réacteurs), Cattenom (4 réacteurs), Golfech (2 réacteurs), Nogent (2 réacteurs), Penly (2 réacteurs)*

Mise à jour du 19 mai 2022

EDF a remis à l'Autorité de sûreté nucléaire une note relative à l'avancement général de l'instruction des défauts de corrosion sous contrainte, son analyse de sûreté et l'évolution de la stratégie de traitement qui en résulte pour l'ensemble du parc nucléaire.

Douze réacteurs, actuellement à l'arrêt, sont concernés par les contrôles de corrosion sous contrainte (CSC) :

- le résultat des expertises métallurgiques réalisées sur des échantillons prélevés sur des tuyauteries des circuits auxiliaires des réacteurs de Civaux 1, Chooz 1 et Penly 1 a confirmé la présence de CSC à proximité de soudures des circuits RIS (circuit d'injection de sécurité) et RRA (circuit de refroidissement du réacteur à l'arrêt).
- Les contrôles et expertises réalisés sur Chinon B3 confirment l'absence de CSC sur le circuit RIS. La présence de CSC a été localisée sur une soudure du circuit RRA.
- Les contrôles et investigations se poursuivent sur les 8 autres réacteurs priorités (Bugey 3, Bugey 4, Cattenom 3, Civaux 2, Chooz 2, Flamanville 1, Flamanville 2, Golfech 1).

L'analyse basée sur des expertises de circuits et la réalisation de calculs, simulations numériques et de tests menés dans le laboratoire d'expertises métallurgiques d'EDF (LIDEC) ont mis en évidence plusieurs éléments :

- la localisation du phénomène dans la zone affectée thermiquement par les soudures,
- l'influence a priori prépondérante de la géométrie des circuits,
- l'influence des procédés de soudage,
- l'existence d'une zone de compression dans le métal, qui limite l'évolution du phénomène de CSC à quelques millimètres.

Parallèlement, EDF a réalisé et présenté à l'Autorité de sûreté nucléaire une première analyse de sûreté complétée de calculs, portant sur sa capacité à arrêter ses réacteurs en toute sûreté, y compris en cas de perte de 2 des 4 lignes des circuits d'injection de sécurité.

A ce stade pour 2022, EDF considère qu'il n'est pas nécessaire d'anticiper de nouveaux arrêts de réacteurs pour réaliser ces contrôles.

La méthode de programmation des contrôles sur les autres réacteurs du parc, basée sur l'analyse des fiches de résultat des examens par ultrasons réalisés dans le cadre des visites décennales, a permis à EDF de définir un calendrier pluriannuel.

Pour 2022, seront contrôlés, dans le cadre de leur programme de maintenance des visites décennales, les réacteurs suivants du palier 900 MW : Tricastin 3, Gravelines 3, Dampierre 2, Blayais 1 et Saint Laurent B2.

Concernant le palier 1300 MW, des expertises métallurgiques approfondies vont être réalisées sur les réacteurs de Cattenom 3 et 4, Flamanville 1 et 2, Golfech 1. Celles engagées sur Penly 1 se poursuivront, afin de disposer de données suffisantes pour caractériser précisément le phénomène sur ce palier.

En 2023, des messages de prudence portant sur la durée des arrêts programmés de certains réacteurs ont été publiés conformément à la réglementation REMIT. En effet ces arrêts sont susceptibles de se prolonger pour des durées totales pouvant atteindre 25 semaines. Cela concerne :

- les réacteurs de 1300 MW ayant un arrêt programmé en 2023 et ne faisant pas partie des réacteurs prioritaires traités en 2022 ;
- les réacteurs de 900 MW suivants : Cruas 2, Bugey 2, Bugey 5, Chinon B2, Gravelines 6.

Des arrêts intermédiaires seront programmés à partir du deuxième trimestre 2023 pour les réacteurs de : Cattenom 1, Saint-Alban 2, Penly 2, Paluel 2, pour des durées pouvant également atteindre 25 semaines.

EDF s'est d'ores et déjà engagé dans les travaux de remplacement des tuyauteries qui ont été déposées pour être expertisées. La filière nucléaire est également pleinement mobilisée.

La préparation des chantiers sur les réacteurs concernés est lancée, les premiers dossiers de réparation ont été présentés à l'ASN, en vue de leur instruction.

EDF a lancé les approvisionnements en tubes et coudes avec des aciéristes européens. Les cadences de production ont été optimisées pour livrer les premières pièces de rechange avant l'été.

L'ensemble des fournisseurs qualifiés pour réaliser ces activités prépare dès maintenant les interventions. Des dizaines de soudeurs ont bénéficié de formations et d'entraînements spécifiques afin de garantir une haute qualité de réalisation.

Mise à jour du 14 avril 2022

EDF poursuit son plan de contrôles et expertises sur les réacteurs priorisés (sur la base de l'analyse des fiches de résultats des examens non destructifs réalisés lors des dernières visites décennales des réacteurs).

Les expertises et les contrôles se poursuivent sur les réacteurs de Civaux 1-2, Chooz 1-2 et Penly 1. Ils sont en cours ou le seront très prochainement sur les 6 autres réacteurs priorisés (voir ci-après « Mise à jour du 8 février 2022 »).

Des indications ont été détectées lors de la réalisation des contrôles non destructifs par ultrasons sur des portions de tuyauterie des réacteurs de Chinon B3, Cattenom 3 et Flamanville 2.

Les investigations se poursuivent pour en caractériser la nature et l'origine.

Par ailleurs, à l'occasion de la troisième visite décennale du réacteur n°1 de la centrale de Golfech, qui se déroule actuellement, des contrôles périodiques programmés ont été réalisés sur le circuit RIS. Des indications ont été détectées. Des contrôles approfondis et des expertises complémentaires vont être réalisés pour caractériser ces indications.

L'élaboration du programme de contrôles sur l'ensemble du parc nucléaire se poursuit, en intégrant, au fur et à mesure, les enseignements tirés des expertises réalisées. Les contrôles seront réalisés sur les arrêts déjà programmés pour maintenance et rechargement de combustible en 2022, 2023 et 2024.

Des échanges techniques sont en cours avec l'Autorité de sûreté nucléaire depuis la détection du phénomène sur le réacteur n°1 de Civaux. Ces échanges portent notamment sur la stratégie globale des contrôles, des expertises et du traitement de ce phénomène de corrosion sous contrainte.

Mise à jour du 8 février 2022

Les calculs réalisés à partir du défaut le plus marqué constaté à date sur une portion de tuyauterie du circuit RIS de Civaux 1, nous permettent de confirmer notre confiance sur l'intégrité des circuits. Nous estimons que l'aptitude des circuits à remplir leur fonction est assurée.

L'analyse de 72 fiches de résultats d'examens non destructifs réalisés lors des dernières visites décennales des 56 réacteurs du parc nucléaire et les résultats des dernières expertises en laboratoire, nous conduisent à établir **la liste priorisée** des réacteurs sur lesquels des contrôles seront repris avec des moyens optimisés et la prise en compte du retour d'expérience de Civaux et Penly :

- dans les 3 mois, lors de leurs arrêts programmés : Bugey 3, Flamanville 1 et Flamanville 2
- dans les 3 mois, lors d'un arrêt spécifique : Chinon 3, Cattenom 3 et Bugey 4

Les premières expertises réalisées en laboratoire montrent une propagation lente du phénomène et une profondeur limitée des fissures qui varient de 0,75mm à 5,6mm au maximum (à comparer à l'épaisseur des tuyauteries de près de 30mm). L'ensemble des échantillons expertisés ont tous montré une fin de fissure située à la hauteur de la première passe de soudage (dite passe « racine »), soit quelques millimètres au maximum. Les contrôles et expertises se poursuivent.

L'ASN est tenue régulièrement informée des résultats des contrôles et expertises.

La première phase du programme de contrôle intégrant les enseignements issus des expertises réalisées sur Civaux 1 et 2 et Penly 1 a été finalisée.

Les contrôles réalisés sur le réacteur de Chooz 1 ayant montré des résultats similaires à ceux de Chooz 2, la date prévisionnelle de reconnexion au réseau électrique du réacteur est le 31/12/2022.

Compte tenu des résultats des expertises réalisées sur Penly 1 depuis la mi-janvier, la date prévisionnelle de reconnexion au réseau électrique du réacteur est le 31/10/2022.

Note d'information du 14 janvier 2022

Afin de se prémunir de la présence de défauts sur les tuyauteries des circuits importants pour la sûreté des installations, les programmes de maintenance du parc nucléaire français prévoient la réalisation de contrôles, lors de chaque visite décennale, sous forme d'Examens Non Destructifs (END) manuels (par ultrasons ou par radiographie).

Le 15 décembre, EDF a indiqué dans un communiqué avoir détecté, lors de la deuxième visite décennale du réacteur n°1 de Civaux, un endommagement de l'acier inoxydable d'une portion de tuyauterie sur les lignes du circuit d'injection de sécurité (RIS).

Les contrôles par ultrasons réalisés sur ce circuit ont mis en évidence des défauts à proximité de deux soudures situées en amont et en aval d'un coude sur les quatre lignes que comporte le circuit d'injection de sécurité. Aucun défaut n'avait été identifié lors des contrôles réalisés lors de la première décennale en 2011.

EDF a procédé à la découpe des portions de tuyauteries concernées et les expertises, réalisées en laboratoire, ont permis de confirmer que les défauts constatés sur le réacteur de Civaux 1 sont liés à un mécanisme de dégradation qui fait intervenir simultanément le matériau et ses caractéristiques intrinsèques, les sollicitations

mécaniques auxquelles il est soumis et la nature du fluide qui y circule. C'est un phénomène connu dans l'industrie et appelé « corrosion sous contrainte ». Il peut être détecté par la réalisation de contrôles spécifiques par ultrasons, tels que ceux menés de manière préventive par EDF lors des visites décennales de ses réacteurs.

Des contrôles ont été initiés sur les mêmes matériels du réacteur n°2 de la centrale nucléaire de Civaux et ont fait apparaître des défauts similaires.

Les quatre réacteurs des centrales de Chooz (Ardennes) et de Civaux sont de même technologie et constituent le palier N4 du parc nucléaire français. En tant qu'industriel responsable et par mesure de précaution, EDF a donc pris la décision d'arrêter les deux réacteurs de la centrale de Chooz, afin de procéder à titre préventif à ces mêmes contrôles.

Au cours de ces contrôles, un défaut a été détecté sur une portion de tuyauterie du réacteur n°2 de Chooz B et les expertises seront étendues à d'autres zones.

Les contrôles sont toujours en cours sur le réacteur de Chooz B1.

Par ailleurs, à l'occasion de la troisième visite décennale du réacteur n°1 de la centrale de Penly qui se déroule actuellement, une indication a été identifiée à proximité d'une soudure, sur une portion de tuyauterie de l'une des quatre lignes que compte le système d'injection de sécurité.

Les examens approfondis réalisés en laboratoire ont montré la présence de défauts similaires à ceux détectés à Civaux : le mécanisme de fissuration diagnostiqué est de la corrosion sous contrainte, mais les défauts expertisés sur Penly 1 sont cependant de moindre profondeur que ceux de Civaux 1.

Des solutions de remplacement ou de réparation des portions de tuyauteries affectées par le phénomène d'endommagement sont en cours d'instruction. Elles seront mises en œuvre au cas par cas, en fonction des conclusions des contrôles, afin de garantir la sûreté des installations.

Dès lors, afin de mener l'ensemble de ces travaux, les durées des arrêts des réacteurs concernés sont modifiées comme suit :

- La date prévisionnelle de reconnexion au réseau électrique du réacteur de Civaux 1 est le 31 Août 2022 ;
- La date prévisionnelle de reconnexion au réseau électrique du réacteur de Chooz B1 est le 27 juillet 2022 ;
- La date prévisionnelle de reconnexion au réseau électrique des réacteurs de Chooz B2 et de Civaux 2 est le 31 décembre 2022 ;
- La date prévisionnelle de reconnexion au réseau électrique du réacteur de Penly 1 est le 30 mai 2022.

La durée des arrêts des réacteurs de Civaux 1 et 2, Chooz 1 et 2, Penly 1 est susceptible d'être prolongée en fonction des résultats des contrôles et des travaux qui seront à réaliser.

Un événement significatif de sûreté non classé (niveau 0 échelle INES) a été déclaré auprès de l'Autorité de sûreté nucléaire par les centrales de Civaux et de Penly.

L'élaboration du programme de contrôles sur l'ensemble du parc nucléaire se poursuit en intégrant, au fur et à mesure, les enseignements tirés des premières expertises réalisées.

Cette note d'information sera mise à jour en fonction des résultats de ces contrôles et expertises.

Acteur majeur de la transition énergétique, le groupe EDF est un énergéticien intégré, présent sur l'ensemble des métiers : la production, le transport, la distribution, le négoce, la vente d'énergie et les services énergétiques. Leader des énergies bas carbone dans le monde, le Groupe a développé un mix de production diversifié basé principalement sur l'énergie nucléaire et renouvelable (y compris l'hydraulique) et investit dans de nouvelles technologies pour accompagner la transition énergétique. La raison d'être d'EDF est de construire un avenir énergétique neutre en CO2 conciliant préservation de la planète, bien-être et développement, grâce à l'électricité et à des solutions et services innovants. Le Groupe participe à la fourniture d'énergie et de services à environ 37,9 millions de clients (1), dont 28,7 millions en France (2). Il a réalisé en 2020 un chiffre d'affaires consolidé de 69,0 milliards d'euros. EDF est une entreprise cotée à la Bourse de Paris.

(1) Les clients sont décomptés depuis 2018 par site de livraison ; un client peut avoir deux points de livraison : un pour l'électricité et un autre pour le gaz.

(2) Y compris ES (Électricité de Strasbourg).