

**GROUPE PERMANENT D'EXPERTS POUR
LES EQUIPEMENTS SOUS PRESSION NUCLEAIRES**

**Avis relatif à la tenue en service des fonds primaires de
générateurs de vapeur de fabrication JCFC et FLC**

Réunion tenue à Montrouge, le 17 octobre 2023

I

Conformément à la saisine de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), référencée CODEP-DEP-2023-016156 et datée du 20 septembre 2023, le groupe permanent d'experts pour les équipements sous pression nucléaires (GP ESPN) s'est réuni le 17 octobre 2023 pour examiner les justifications apportées par EDF quant à la tenue en service des fonds primaires de générateurs de vapeur (GV) fabriqués par Japan Casting and Forging Corporation (JCFC) et Framatome Le Creusot (FLC), comportant une zone de ségrégation présentant des concentrations de carbone en excès. Cette anomalie concerne 43 GV répartis sur 17 réacteurs en exploitation.

Ce sujet avait déjà fait l'objet d'informations du GP ESPN lors des réunions tenues le 30 septembre 2015 et le 24 juin 2016. Deux points d'étape ont ensuite été présentés aux membres du GP ESPN : une information globale le 7 décembre 2016 et une information spécifique aux fonds fabriqués par JCFC le 16 octobre 2019.

II

Le groupe permanent a pris connaissance des conclusions de l'expertise menée par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) des dossiers transmis par EDF et a entendu les explications et commentaires présentés en séance par EDF. Il a examiné le risque de rupture brutale des fonds concernés par l'anomalie de concentration de carbone pour les fonds fabriqués par JCFC et par FLC. Il a notamment considéré :

- les résultats du programme de caractérisation des matériaux ;
- les transitoires thermohydrauliques pénalisants ;
- les conclusions d'EDF relatives à la capacité de détection de défauts dans les pièces ;
- les analyses actualisées vis-à-vis du risque de rupture brutale.

III

Contexte

Une augmentation de la teneur en carbone conduit à une modification des caractéristiques mécaniques de l'acier, et notamment de sa ténacité. Il doit être démontré qu'elle est suffisante pour exclure le risque de rupture brutale. Les calculs en appui de cette analyse doivent être menés en faisant l'hypothèse, soit d'un défaut conventionnel, soit d'un défaut plan postulé au regard des capacités des contrôles et dont le positionnement est pénalisant vis-à-vis des chargements qui peuvent lui être appliqués.

Le traitement initial de l'anomalie par EDF intégrait des hypothèses conservatives pour les données d'entrée des analyses à la rupture brutale. Au vu des résultats des analyses, des mesures compensatoires d'exploitation ont été mises en œuvre pour écarter le risque de rupture brutale lors de certains transitoires, notamment des chocs chauds pour les fonds de GV JCFC et FLC, et des chocs froids pour les fonds de GV JCFC.

Les investigations complémentaires menées par EDF visaient à réévaluer ces hypothèses conservatives initiales au regard de résultats ou connaissances nouvelles. Le groupe permanent a examiné, d'une part, la pertinence des travaux pour soutenir les nouvelles hypothèses et, d'autre part, les analyses du risque de rupture brutale s'appuyant sur cette mise à jour.

IV

Tenue en service des fonds de GV fabriqués par JCFC

Postérieurement à l'information présentée au groupe permanent en 2019, dédiée aux fonds issus de lingots de 120 tonnes, EDF a complété son analyse en examinant les fonds issus de lingots de 90 tonnes.

Les caractérisations menées ont confirmé que la ségrégation du carbone se trouve localisée entre la surface externe et le quart-épaisseur externe des fonds. Elles ont permis de justifier les propriétés mécaniques prises en compte pour les zones ségréguées, rendant caduc le besoin de mise à jour de l'analyse de risque de rupture brutale de ces pièces.

Le groupe permanent considère que les enseignements des programmes expérimentaux menés par EDF sont pertinents et suffisants pour conclure à l'adéquation des hypothèses relatives aux propriétés des matériaux retenues à la conception.

Pour démontrer l'absence de défauts plus nocifs que ceux postulés dans les analyses mécaniques, EDF s'appuie sur les résultats des contrôles non destructifs surfaciques et volumiques, réalisés au stade de la fabrication, et ceux réalisés à titre d'expertise sur site en 2016 dans le cadre du traitement de l'anomalie. EDF conclut à l'absence de défauts plus étendus que ceux postulés dans les études de rupture brutale, pour l'ensemble des fonds de GV concernés.

Cependant, pour une partie des fonds fabriqués par JCFC, les conditions de fabrication sont susceptibles de dégrader la qualité des contrôles surfaciques réalisés en paroi externe. Ces contrôles n'apportaient donc pas une garantie suffisante de l'absence de défaut débouchant en paroi externe. EDF a présenté une étude mécanique établissant l'absence de risque de rupture brutale pour un défaut conventionnel, dont la détection par les contrôles volumiques déjà réalisés est assurée. Le groupe permanent considère que cette étude et ses conclusions sont recevables. Pour autant, le groupe permanent souligne que, pour des composants non ruptibles, il convient de mettre en œuvre les meilleures pratiques permettant de maîtriser la variabilité des caractéristiques mécaniques des composants forgés et leur contrôlabilité, conformément à l'avis du groupe permanent élaboré lors de sa séance du 24 janvier 2023.

En conclusion de l'analyse de la réévaluation du risque de rupture brutale après actualisation des hypothèses de l'étude, le groupe permanent note que, pour les GV équipés de fonds JCFC, les mesures compensatoires mises en œuvre dans la phase précédente du traitement de l'anomalie ont pu être levées.

V a

Analyse des transitoires thermohydrauliques

Le groupe permanent a pris connaissance de la démarche mise en œuvre par EDF pour la sélection des transitoires thermohydrauliques les plus sollicitants et pour leur caractérisation, pour les réacteurs du palier 900 MWe. Il considère que les transitoires les plus sévères ont bien été identifiés par catégorie de fonctionnement. S'agissant de la caractérisation des situations, il note que, pour certaines situations de 3^{ème} et 4^{ème} catégorie, la température de paroi du GV appliquée dans les analyses mécaniques est calculée par un code thermohydraulique système, dont une fonctionnalité complémentaire a été utilisée.

Pour couvrir les incertitudes associées à la description des transitoires, notamment celles issues du point précédent, EDF a réalisé un calcul complémentaire du transitoire enveloppe, en appliquant un facteur multiplicatif de 2 sur le coefficient d'échange, ce que le groupe permanent juge satisfaisant.

Le groupe permanent note qu'ainsi, au terme de l'instruction de l'IRSN, les situations à prendre en compte dans les analyses mécaniques sont caractérisées de manière pertinente dans le dossier d'EDF.

V b

Tenue en service des fonds fabriqués par FLC

Les propriétés des zones ségréguées des fonds de GV fabriqués par FLC ont été évaluées à l'aide des résultats de caractérisation de fonds représentatifs de ceux installés sur les réacteurs d'EDF. EDF a regroupé les pièces fabriquées en deux familles en fonction de leurs conditions de fabrication. Pour l'une des deux familles, les caractérisations menées ont confirmé que la ségrégation du carbone reste localisée entre la surface externe et la mi-épaisseur des fonds ; pour l'autre famille, elle peut dépasser cette zone et atteindre les trois quarts de l'épaisseur.

Le groupe permanent considère que les programmes expérimentaux menés par EDF sont pertinents et suffisants pour établir les données d'entrée de l'évaluation du risque de rupture brutale et que les hypothèses relatives aux propriétés des zones ségréguées des fonds fabriqués par FLC retenues par EDF sont justifiées.

Pour démontrer l'absence de défauts plus nocifs que ceux postulés dans les analyses mécaniques, EDF s'appuie sur les résultats des contrôles non destructifs surfaciques et volumiques, réalisés au stade de la fabrication, et ceux réalisés à titre d'expertise sur site en 2016 dans le cadre du traitement de l'anomalie. EDF conclut à l'absence de défaut plus étendu que ceux postulés dans les études de rupture brutale, pour l'ensemble des fonds de GV concernés, ce dont le groupe permanent convient. De plus, il note l'engagement pris par EDF de réaliser une étude de faisabilité d'un nouveau procédé permettant la détection de défauts d'orientation longitudinale dans la zone des tubulures.

Le groupe permanent note que la mise à jour des analyses mécaniques du risque de rupture brutale lorsque le GV subit un choc thermique, tenant compte des mesures compensatoires en vigueur, conduit au respect des critères d'études pour l'ensemble des fonds fabriqués par FLC. Le groupe permanent considère donc que des mesures compensatoires supplémentaires ne sont pas nécessaires.

Sur la base des éléments susmentionnés, le groupe permanent estime que l'absence de risque de rupture brutale des fonds ségrégués de fabrication FLC est justifiée.

VI

Conclusion

Le groupe permanent estime qu'après un ensemble solide de travaux menés par EDF, les résultats expérimentaux disponibles et les connaissances nouvelles sont suffisants pour démontrer l'aptitude des générateurs de vapeur ayant des fonds avec des concentrations de carbone en excès à être maintenus en service. Il estime dès lors que la mise en place de mesures compensatoires d'exploitation supplémentaires ou de dispositions de suivi en service complémentaires dont des examens non destructifs n'apparaît plus nécessaire.

Membres du GPESPN ayant participé à la rédaction de l'avis

M. SCHULER Président
M. SORRO Vice Président

M. BALAHY
M. BUISINE
M. CASSAGNES
M. CHAMPIGNY
M. COUPLET
M. CROMBEZ
Mme DROBYSZ
M. GIRAUD
M. GONDARD
M. HOUZÉ
M. HYVERT
M. JENDRICH
M. LOISEAU
M. LONGIN
M. MARIGNAC
M. MARTINEZ MARTIN
M. NEDELEC
M. PERRAT
M. PERRIN
M. ROTTER
M. ROUSSEL