

Fontenay-aux-Roses, le 30 novembre 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00222

Objet : EPR de Flamanville - Traitement de l'écart sur les soudures « set-in » par l'installation de colliers de maintien.

Réf. : [1] Lettre ASN – CODEP-DEP-2018-048051 du 2 octobre 2018.
[2] Lettre ASN – CODEP-DCN-2021-041970 du 8 octobre 2021.
[3] Lettre ASN – CODEP-DCN-2022-023776 du 10 mai 2022.

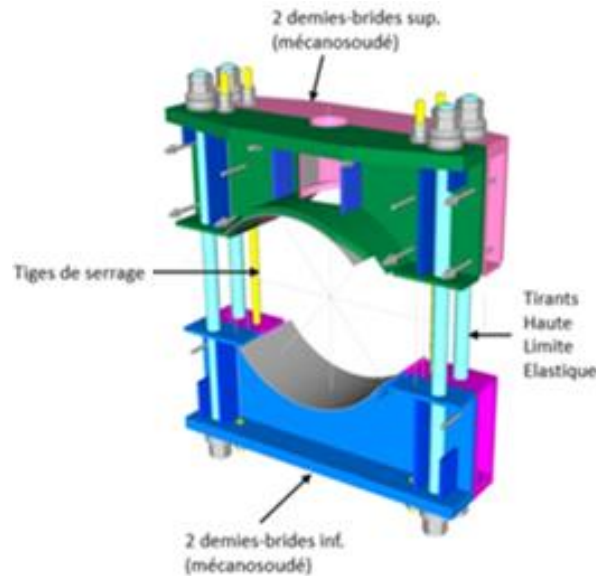
Pour le réacteur EPR de Flamanville, EDF applique une démarche d'exclusion de rupture (EDR) aux branches chaudes, branches en U (BU) et branches froides (BF) des boucles du circuit primaire principal (CPP), y compris les soudures bimétalliques et homogènes de raccordement aux récipients (cuve, générateur de vapeur, groupe motopompe primaire) et aux piquages intégrés de forge des lignes du système d'injection de sécurité (RIS-RA), de la ligne d'expansion du pressuriseur (LEP) et de la ligne de charge du circuit de contrôle volumétrique et chimique (RCV), à l'exclusion des soudures de raccordement de ces piquages. Pour les autres piquages, l'aire de brèche résultant de leur rupture ne doit pas excéder l'aire maximale des brèches considérées dans la démonstration de sûreté (rupture au niveau des piquages RIS-RA et LEP). Au cours de la réalisation des branches du CPP, EDF a été amené à modifier l'emplacement des soudures d'implantation des piquages « set-in »¹ des lignes d'aspersion du pressuriseur situés en branche froide n° 2 et n° 3, et de celui de la ligne de décharge du circuit RCV situé sur la branche en U n° 1. L'aire de brèche résultant de la rupture des soudures d'implantation de ces piquages ne respectant plus l'exigence précédente, EDF a décidé d'inclure ces soudures dans le périmètre d'application de l'EDR.

Dans le cadre des vérifications demandées par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) à la suite des écarts affectant les soudures des tuyauteries de vapeur principales [1], EDF a mis en évidence que les soudures de ces trois piquages ne respectaient pas l'ensemble des exigences de la démarche EDR. Après avoir étudié différentes possibilités de traitement de cet écart, EDF a finalement exclu ces soudures du périmètre d'application de l'EDR et a décidé d'installer trois colliers de maintien (CDM) afin que l'aire de la brèche résultant de la défaillance de la soudure de chacun de ces piquages reste couverte par celles considérées dans la démonstration de sûreté.

Les CDM en branche froide et en branche en U ont la même fonction et diffèrent uniquement par leurs dimensions. Les CDM comportent deux structures mécanosoudées appelées « demi-colliers » qui sont reliées

¹ Piquage avec une soudure d'implantation réalisée directement dans l'épaisseur de la tuyauterie primaire.

par quatre tiges de serrage munies de rondelles plates et de rondelles ressorts ainsi que par quatre tirants à haute limite d'élasticité munis de rondelles sphériques et de rondelles ressorts (cf. figure ci-dessous).



Description schématique d'un collier de maintien

Ces structures enserrant la tuyauterie primaire au niveau des piquages. Les rondelles ressorts montées sur les tiges de serrage ont pour but d'assurer l'absence de glissement du CDM sur la tuyauterie primaire et de limiter les efforts de serrage liés à la dilatation lors du fonctionnement du réacteur. Un écrasement complet de ces rondelles ressorts est visé à chaud en fonctionnement normal. Les rondelles ressorts des tirants permettent, quant à elles, de ne pas solliciter les tirants en fonctionnement normal. Les tirants n'entrent en action qu'en cas de rupture de la soudure du piquage. Ils doivent être capables de retenir la partie rompue et donc de limiter l'aire de brèche.

Par le courrier en référence [2], l'ASN a indiqué ne pas avoir d'opposition de principe sur la solution proposée par EDF pour le traitement de l'écart. Par la lettre en référence [3], l'ASN a saisi l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) afin de recueillir son avis sur les points suivants :

- l'impact de l'installation des CDM sur les études de sûreté (études d'accident ou d'agression) en fonctionnement et lors d'opérations de maintenance, et la capacité du collier de maintien à assurer ses fonctions dans les situations où il est requis ;
- les défaillances du collier postulées par EDF dans sa démonstration de sûreté, et la justification des défaillances exclues ;
- les dispositions de conception, de fabrication et de suivi en service prévues par EDF pour assurer que la défaillance du collier de maintien est rendue suffisamment improbable ;
- la résistance des soudures au regard du risque de rupture brutale.

Sur la base du dossier initial d'EDF, complété par des éléments transmis au cours de l'expertise, l'IRSN a examiné le caractère acceptable de la solution retenue par EDF pour le traitement de l'écart affectant les soudures d'implantation des trois piquages « set-in » concernés du CPP. Les conclusions de l'analyse de l'IRSN sur les points susmentionnés font l'objet des paragraphes suivants.

1. EXIGENCES DEVANT ÊTRE SATISFAITES PAR LES CDM

EDF a fixé un certain nombre d'exigences devant être satisfaites par les CDM portant notamment sur la limitation de l'aire de la brèche, l'absence de remise en cause de la démonstration de sûreté relative aux agressions internes et externes, l'innocuité pour les équipements sous pression nucléaires du CPP, le haut niveau de qualité de fabrication, la possibilité de réaliser des contrôles, des inspections et de la maintenance sur le CPP, et enfin sur le suivi en service des CDM. **Ces exigences n'appellent pas de remarque de l'IRSN.**

Par ailleurs, les CDM sont potentiellement redevables du critère de défaillance unique compte tenu de leur classement fonctionnel. Toutefois, EDF estime que les CDM constituent des dispositifs passifs et que, à l'instar des supports, la défaillance unique n'est pas à considérer. EDF indique également que, comme les tirants sont dimensionnés vis-à-vis des efforts qu'ils pourraient subir à la suite de la défaillance de la soudure du piquage ainsi que des conditions d'ambiance associées, aucune défaillance n'est à prendre en compte. **L'IRSN estime recevables les arguments d'EDF mais souligne que la garantie de l'absence de défaillance repose sur le bon dimensionnement du CDM.**

2. DIMENSIONNEMENT DES CDM

Afin de justifier le dimensionnement des CDM, il convient tout d'abord d'évaluer de manière conservative l'effort induit par la rupture de la soudure d'implantation du piquage, puis de vérifier, par une analyse des contraintes, l'absence de défaillance des composants constituant le CDM.

Effort induit sur le CDM par la rupture de la soudure du piquage

L'effort maximal induit par la rupture de la soudure du piquage et transmis au CDM est le cumul d'efforts statiques (l'effort de pressurisation statique et l'effort de pressurisation sur les lèvres de la soudure) avec l'effort dynamique dû à la poussée du jet. Une amplification dynamique due au caractère brusque du chargement doit aussi être prise en compte.

EDF a défini un effort global forfaitaire pour le dimensionnement des tirants et a vérifié grâce à un calcul dynamique que cette valeur n'était pas dépassée lors du scénario de rupture. Le scénario retient une course initiale des rondelles ressorts et calcule l'effort maximal transmis aux tirants après l'écrasement complet de ces rondelles. Pour l'IRSN, cette démarche est acceptable compte tenu des hypothèses pénalisantes retenues pour le calcul. **Néanmoins, l'IRSN observe que la valeur de l'effort de dimensionnement est très proche de la valeur issue du calcul dynamique, ce qui nécessite de garantir la maîtrise de la valeur à chaud de la course avant écrasement complet des rondelles ressorts des tirants. En effet, la valeur de l'effort est influencée par l'aire de la brèche, elle-même dépendante de la course avant écrasement complet des rondelles ressorts des tirants.**

En conséquence, l'IRSN a estimé nécessaire qu'EDF vérifie, avant la mise en service de l'EPR de Flamanville, la course réelle à chaud des rondelles ressorts afin de valider la conception des CDM. EDF s'est engagé à réaliser, en amont de cette échéance, un contrôle à chaud de l'écrasement des rondelles ressorts des tirants (cf. engagement en annexe). **Pour l'IRSN, les résultats de ces contrôles devront confirmer les valeurs d'écrasement estimées par calcul et par conséquent la bonne maîtrise de l'installation des colliers de maintien. Ceci validera également l'absence d'effort supplémentaire sur le circuit primaire principal.**

Analyses des contraintes dans le CDM

L'IRSN a vérifié l'adéquation des critères mécaniques avec les matériaux retenus, notamment pour la nuance d'acier des deux demi-colliers. Les données d'entrée (hypothèses, chargements, propriétés thermomécaniques, etc.) utilisées dans les analyses des contraintes n'appellent pas de remarque de l'IRSN.

L'IRSN considère donc que la justification de la tenue mécanique de tous les composants constitutifs des CDM, notamment des structures mécanosoudées en tenant compte de la modification de la nuance de ces structures en P295GH (voir paragraphe suivant), est acceptable.

3. FABRICATION DES CDM

Lors de l'approvisionnement des tôles constituant les CDM, EDF a mis en évidence que certaines propriétés mécaniques de ces tôles de nuance P355GH étaient légèrement en dessous des valeurs requises. EDF a choisi d'accepter en l'état ces tôles en requalifiant leur nuance en P295GH et en procédant à une extension de la qualification du mode opératoire de soudage afin de vérifier sa compatibilité avec cette nouvelle nuance. **Pour l'IRSN, la démarche retenue par EDF pour traiter cet écart est satisfaisante car elle permet de trouver un compromis entre les critères d'acceptation de recette des tôles et ceux de la conception des CDM.**

L'IRSN souligne également que l'ensemble des documents de conception, de fabrication, de qualification et de sûreté lié à la fiche de non-conformité (FNC) associée devra être mis à jour afin de garantir la cohérence documentaire et la traçabilité du traitement de la FNC.

4. IMPACT DE L'INSTALLATION DES CDM

Les CDM constituant des masses additionnelles non prises en compte initialement, EDF a vérifié que leur installation ne remet pas en cause la tenue mécanique des tuyauteries du CPP. EDF a aussi étudié l'impact de l'installation des CDM sur la démonstration de sûreté. Dans ce cadre, EDF a vérifié que les CDM ne constituent pas un agresseur et qu'aucune agression interne n'est susceptible de conduire à la défaillance des CDM. **L'IRSN estime que les éléments fournis par EDF justifiant l'absence d'impact de l'installation des CDM sont acceptables.**

5. MAINTENANCE DES CDM ET SUIVI EN SERVICE

EDF a défini deux configurations pour les CDM : une configuration dite « 1^{ère} monte » correspondant à la mise en place des CDM et une configuration dite « maintenance » correspondant au démontage des CDM. Dans ce cadre, des modifications de l'installation ont été entreprises et des outillages spécifiques nécessaires aux activités de montage et démontage ont été développés. EDF a par ailleurs indiqué qu'avant les interventions, l'intégralité des procédures de mise en place des CDM sera disponible et que les opérateurs seront formés sur des maquettes (BU et BF) représentatives de l'installation et de son environnement proche. Ces procédures pourront être complétées sur la base des retours de formation.

En outre, une analyse de risque a été réalisée sur les activités de mise en place des CDM, dans laquelle les risques considérés comme majeurs et les parades correspondantes sont présentés dans une note de principe. À cet égard, l'IRSN souligne l'importance de l'alignement parfait des deux demi-colliers lors du montage des CDM pour garantir un chargement réparti sur les tiges de serrage et les tirants en cas de rupture de la soudure du piquage.

Par ailleurs, le suivi en service des CDM envisagé par EDF se limite à un contrôle visuel de ses composants lors des phases de démontage/remontage en visite décennale compte tenu qu'aucun mode de vieillissement n'est attendu, ce qui n'appelle pas de remarque de l'IRSN.

Une note de principe de maintenance décrit les différents séquençements de démontage/remontage des CDM, effectués lors de chaque visite décennale. De manière générale, l'IRSN considère adéquate la distinction des différents séquençements présentés. Cependant, l'IRSN note que les séquençements de démontage partiel/remontage des demi-colliers inférieurs des CDM en BF sont absents de la note de principe². Selon EDF, bien que le démontage intégral des CDM soit possible, il n'est envisagé qu'un démontage partiel de ces derniers en cohérence avec les activités de maintenance du CPP, afin notamment de limiter l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants. **L'IRSN partage la nécessité de limiter l'exposition des travailleurs, mais souligne que le démontage partiel des CDM devra satisfaire aux exigences de l'arrêté d'exploitation du 10 novembre**

² Pour la branche en U, une dépose du collier inférieur est bien prévue.

1999 qui demande qu'au cours de l'épreuve hydraulique, toutes les parties de « l'appareil » soient en principe accessibles et visibles. En outre, **pour le remontage des CDM, l'IRSN estime que les valeurs appliquées pour le serrage des tiges et des tirants devront figurer dans un document de maintenance prescriptif, au regard du rôle des CDM dans la démonstration de sûreté.**

Au stade actuel, les programmes de base de maintenance préventive (PBMP) applicables aux composants du CPP ne sont pas encore établis. Pour l'IRSN, EDF doit prévoir dans le PBMP du CPP du réacteur EPR de Flamanville un programme de contrôle des trois soudures « set-in » à l'instar du parc électronucléaire existant. De plus, les conclusions de l'expertise en cours relative à l'examen des résultats des contrôles des soudures « set-in » pourraient conduire à des demandes supplémentaires pour le suivi en service de ces soudures.

6. RÉSISTANCE DES SOUDURES AU REGARD DU RISQUE DE RUPTURE BRUTALE

EDF a vérifié par calcul que les critères de tenue mécanique des soudures des piquages « set-in » étaient respectés pour toutes les catégories de situations pour une durée de 60 ans de fonctionnement. Il s'agit d'une analyse conventionnelle de conception basée sur un défaut fictif de grandes dimensions et des propriétés du matériau à l'état « vieilli ». Le modèle numérique et les méthodes de calcul retenues n'appellent pas de remarque de l'IRSN. **Néanmoins, EDF a retenu pour la ténacité des soudures des piquages « set-in » à l'état « vieilli » des valeurs au fractile 16 %. Pour l'IRSN, ceci n'est pas acceptable en conception pour une soudure de tuyauterie de niveau 1³. Dans ce cas, l'IRSN estime qu'il convient de retenir des valeurs de ténacité inférieures au fractile 5 %.** EDF a réalisé récemment une mise à jour des valeurs de la base de données matériau pour exclure des valeurs anciennes non-conformes au code de conception et ajouter de nouvelles valeurs, ce qui n'appelle pas de remarque de l'IRSN. La base de données actualisée fournit désormais des valeurs de ténacité au fractile 5 % à l'état « vieilli » très proches des valeurs initiales au fractile 16 %. Ceci permet de confirmer les conclusions des analyses à la rupture brutale.

En conclusion, l'IRSN considère que la démonstration de la résistance à la rupture brutale des soudures des piquages « set-in » a été apportée par EDF.

7. CONCLUSION

À l'issue de son expertise, l'IRSN estime acceptable la solution retenue par EDF pour le traitement de l'écart affectant les soudures d'implantation des trois piquages « set-in » concernés du CPP. La justification de la tenue mécanique de tous les composants constitutifs des CDM, a été apportée. Néanmoins, certaines valeurs issues des études de dimensionnement des CDM devront être confirmées par des contrôles à réaliser préalablement à la mise en service de l'EPR de Flamanville, ce qui fait l'objet de l'engagement pris par EDF cité en annexe. S'agissant du démontage et du remontage des CDM qui seront réalisés lors des visites décennales pour les contrôles du CPP, l'IRSN estime que, pour leur remontage, les valeurs appliquées pour le serrage des tiges et des tirants devront figurer dans un document de maintenance prescriptif. Par ailleurs, la nécessité de compléter le suivi en service des soudures d'implantation des piquages « set-in » fait l'objet d'une expertise en cours. Plus globalement, l'IRSN estime recevables les éléments fournis par EDF relatifs à l'impact de l'installation des CDM sur la tenue mécanique du CPP et sur la démonstration de sûreté.

³ Le niveau 1 du code de conception RCC-M est utilisé pour les équipements dont la conception et la fabrication doivent être les plus soignées.

Enfin, l'IRSN estime acceptable la démonstration de la résistance à la rupture brutale des soudures des piquages « set-in ».

IRSN
Le Directeur général
Par délégation
Thierry PAYEN
Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2022-00222 DU 30 NOVEMBRE 2022

Engagement d'EDF

Préalablement à la mise en service de l'EPR de Flamanville, EDF s'est engagé à réaliser un contrôle à chaud des écrasements des rondelles ressorts des tirants par la vérification de la conformité de la course résiduelle de ces rondelles.