

Fontenay-aux-Roses, le 26 mai 2020

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2020-00079

Objet...	EDF - Réacteurs électronucléaires de 1300 MWe - Retrait de manchettes thermiques sur les positions non grappées du cercle 3 des couvercles de cuve
Réf(s) ..	[1] Saisine ASN - CODEP-DCN-2020-025088 du 11 mai 2020 [2] Avis IRSN/2019-00105 du 16 mai 2019
Nbre de page(s) ...	6

Conformément à la demande de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en référence [1], l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) a évalué l'acceptabilité, vis-à-vis de son impact thermohydraulique, du retrait de manchettes thermiques sur les positions non grappées du cercle 3 du couvercle de cuve des réacteurs du palier 1300 MWe (Figure 1 en **Annexe**).

1 CONTEXTE ET HISTORIQUE

Le 13 décembre 2017, l'exploitant du réacteur n° 2 de la centrale nucléaire de Belleville-sur-Loire a constaté un blocage à la manœuvre de la grappe de commande¹ en position centrale du cœur. Cet événement a conduit les opérateurs à arrêter le réacteur et à le ramener dans le domaine d'exploitation « réacteur complètement déchargé ». Après la dépose du couvercle de cuve, un anneau métallique détaché entravant la course de la grappe, appelé « collerette », a été identifié puis extrait. Cet anneau provient de la partie supérieure de la manchette thermique de l'adaptateur, qui supporte le mécanisme de commande de grappe (MCG).

Suite à cet incident, EDF a estimé sur l'ensemble du parc en exploitation, lors de la dépose des couvercles de cuve, l'usure des manchettes thermiques et des adaptateurs de couvercle de cuve en regard par un contrôle d'altimétrie de la tulipe inférieure de la manchette thermique (Figure 2 en **Annexe**).

Les résultats de ces contrôles ont conduit au remplacement ou à la mise en place de manchettes thermiques équipées de bagues de compensation sur le réacteur n° 1 de la centrale nucléaire de

Adresse Courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Siège social
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses

Standard +33 (0)1 58 35 88 88

RCS Nanterre 8 440 546 018

¹ Pour contrôler la réaction nucléaire dans le cœur du réacteur, l'exploitant dispose de deux moyens principaux :

- (i) ajuster la concentration de bore dans l'eau du circuit primaire, le bore ayant la propriété d'absorber les neutrons produits par la réaction nucléaire,
- (ii) introduire des grappes de commande, qui contiennent des matériaux absorbant les neutrons, dans le cœur ou les en retirer.

Nogent-sur-Seine, sur les réacteurs n°3 et 4 de la centrale nucléaire de Paluel et sur les réacteurs n°1 et 2 des centrales nucléaires de Belleville-sur-Loire et de Saint-Alban.

Par ailleurs, ces contrôles ont mis en évidence un affaissement de manchettes thermiques sur les traversées ne comportant pas de grappes de commande (dites « *non-grappées* ») des couvercles de cuve des réacteurs du palier 1300 MWe.

Afin de traiter ce problème pour les manchettes thermiques en positions non grappées, EDF a initialement déposé une demande de modification matérielle générique aux réacteurs de 1300 MWe. Cette modification consiste à déposer une ou plusieurs manchette(s) thermique(s) sur une ou des traversée(s) non grappée(s) appartenant au cercle 3² des couvercles de cuve (voir Figure 1 en **Annexe**) sans installer de manchette thermique de remplacement, pour les manchettes présentant une usure supérieure au critère de réparation³.

Enjeux de la modification

Le remplacement ou la réparation d'une manchette thermique nécessite au préalable la dépose du MCG, opération dont le coût dosimétrique pour les intervenants est notablement plus élevé que celui associé à un simple retrait de la manchette par le dessous du couvercle de cuve. Ainsi, pour une position non grappée, cette stratégie permet de réduire fortement la dosimétrie intégrée pour les intervenants sur site.

En revanche, il convient de s'assurer que ce retrait n'engendre pas de régression vis-à-vis de la sûreté.

Rôle de la manchette thermique : lien avec les écoulements dans le tube d'adaptateur

La manchette thermique remplit les fonctions suivantes :

- le cône de guidage permet de recentrer la tige de commande lors de la fermeture de la cuve en arrêt de tranche ;
- en cas de chute de grappe, le mouvement d'eau vers le haut du MCG soulève la manchette thermique, ce qui augmente la section de passage de l'eau, diminue la perte de charge et donc le temps de chute de grappe ;
- en cas de remontée de grappe, l'eau, plus froide que celle présente dans le couvercle de cuve, chassée du haut du MCG, descend uniquement dans l'espace à l'intérieur de la manchette thermique. La soudure de l'adaptateur sur le couvercle (voir Figure 2 en Annexe) est ainsi protégée des chocs thermiques froids ;
- en l'absence de mouvement de grappe, la manchette limite les fluctuations de température au sein des adaptateurs *via* l'établissement d'une boucle de thermosiphon : l'eau chaude monte entre la manchette et le tube d'adaptateur en se refroidissant au fur et à mesure puis l'eau plus froide descend à l'intérieur de la manchette. Elle est en effet percée en sa partie haute, ce qui rend possible l'établissement de cette boucle de thermosiphon entre l'intérieur et l'extérieur de la manchette, au sein du tube d'adaptateur.

Seul le dernier point est à considérer pour la présente analyse, puisque la demande de modification ne concerne que des positions non grappées. La principale conséquence du retrait d'une manchette thermique au niveau d'une position non grappée est la modification de la boucle de thermosiphon établie grâce à la présence de la manchette. Compte tenu de la géométrie très élancée d'un tube d'adaptateur (cylindre creux de 6,3 m de long et d'environ 70 mm de

² Les manchettes thermiques situées vers le centre du couvercle sont plus sujettes à la problématique d'usure. Les manchettes thermiques situées en périphérie sont moins concernées.

³ EDF a défini un critère d'usure conservatif correspondant à la hauteur d'usure maximale de la bride de la manchette permettant de définir la limite à ne pas dépasser afin d'exclure la formation d'une collerette. Si ce critère est dépassé, des actions de maintenance sont engagées.

diamètre), l'écoulement de convection naturelle qui s'établit en cas de retrait de la manchette thermique est complexe : il est susceptible de générer des instabilités thermohydrauliques, de nature à induire un risque de fatigue thermique en paroi interne du tube de l'adaptateur. Par conséquent, la tenue mécanique des matériels soumis à ces chargements thermohydrauliques doit être justifiée.

Le dossier initial présenté par EDF, s'appuyant notamment sur des éléments quantifiés à l'aide d'un logiciel de type CFD⁴, met en évidence une marge notable par rapport aux chargements thermiques susceptibles d'engendrer des dommages. En effet, l'écoulement à l'intérieur d'un tube d'adaptateur vide prend la forme d'une superposition de cellules convectives, induites par l'élanement important du domaine fluide. L'amplitude des fluctuations de température générées reste ainsi faible.

Cependant, l'expertise de cette première demande de modification, synthétisée dans l'avis de l'IRSN en référence [2], a conduit l'IRSN à émettre des réserves portant sur ces éléments quantitatifs visant à démontrer l'absence de nocivité des instabilités thermohydrauliques survenant au sein du tube d'adaptateur. Elles portaient plus précisément sur :

- l'absence de dossier de validation démontrant la capacité de l'outil de calcul scientifique utilisé, à représenter quantitativement les variations de température fluide en paroi du tube d'adaptateur dans cette configuration, à savoir un écoulement en convection naturelle dans une cavité élanée et refroidie par ses parois latérales (problématique spécifique et peu investiguée) ;
- l'absence d'évaluation de l'influence des fluctuations thermohydrauliques (de pression, température et de débit), subies par le réacteur pendant son fonctionnement en régime permanent et lors des principaux transitoires d'exploitation, sur l'écoulement dans un tube d'adaptateur en l'absence de manchette thermique.

L'exploitant a alors restreint la demande de modification initiale aux « *positions non grappées du cercle 3* [qui présenteront une usure supérieure au critère de réparation lors des contrôles altimétriques réalisés en début d'arrêt de tranche de 2019] *du couvercle de cuve 1300 MWe de Nogent 1 pour une durée de deux cycles* », dans l'attente de compléments de démonstration sur les points susnommés.

L'objet du présent avis est d'évaluer la possibilité de généraliser cette modification à l'ensemble des réacteurs de 1300 MWe et sans limitation du temps de fonctionnement dans cette configuration, à la lumière des compléments de démonstration transmis par EDF par la suite. L'analyse porte uniquement sur ces compléments apportés sur le volet thermohydraulique, en réponse aux réserves rappelées ci-dessus, la validité des conclusions des évaluations mécaniques constituant une donnée d'entrée de la présente analyse.

2 VALIDATION DE L'OUTIL DE CALCUL POUR LE CAS D'APPLICATION VISE

L'outil de calcul scientifique utilisé pour estimer les variations de température fluide en paroi du tube d'adaptateur est un logiciel de type CFD. Afin de répondre à la première réserve rappelée ci-dessus, EDF a élaboré un dossier de validation.

L'IRSN souligne positivement la démarche retenue par EDF. La majorité des étapes préconisées par le guide ASN n° 28 portant sur la validation des logiciels de calcul ont été réalisées par EDF. De plus, les éléments présentés dans le

⁴ Computational Fluid Dynamics (CFD) : un logiciel de thermohydraulique de type « CFD » permet de représenter les écoulements de fluide à l'échelle locale par résolution des équations de Navier-Stokes moyennées en temps et en espace, sur une discrétisation du domaine constituée de mailles de l'ordre du millimètre au centimètre.

dossier de validation permettent de conclure que l'outil de calcul utilisé est capable de représenter correctement les phénomènes physiques d'intérêt du cas d'application visé, et notamment l'amplitude et la fréquence des fluctuations de température survenant dans une cavité verticale élancée.

Cependant, l'analyse de la transposition des cas de validation, correspondant à des essais sur maquettes expérimentales, au cas réacteur met en évidence des différences, notamment en termes de géométrie, qui impliquent que le domaine sur lequel l'outil de calcul est validé est plus restreint que le domaine d'utilisation visé. Enfin, l'évaluation des incertitudes associées aux grandeurs d'intérêt calculées n'est pas menée. De ce fait, dans le cadre d'une démonstration de sûreté, il est nécessaire d'appliquer des conservatismes suffisants, ou *a minima* de montrer que les marges au critère sont suffisantes, pour couvrir, dans le cas présent, les incertitudes et les lacunes affectant la transposition depuis les cas de validation à la situation d'intérêt en réacteur. À cet égard, des études de sensibilité visant à évaluer l'influence sur le cas réacteur de paramètres non pris en compte dans les cas de validation doivent être réalisées afin de s'assurer que les marges aux critères sont suffisantes et robustes.

3 ÉVALUATION DE L'INFLUENCE DES FLUCTUATIONS THERMOHYDRAULIQUES SUR L'ÉCOULEMENT DANS LE TUBE D'ADAPTATEUR

Afin de répondre à la deuxième réserve EDF a réalisé des études de sensibilité, portant sur la température du fluide dans le dôme, la vitesse du fluide primaire en regard du tube d'adaptateur et la température de l'air dans l'enceinte de confinement. Elles visent à démontrer que des variations des paramètres thermohydrauliques de la chaudière ne sont pas de nature à réduire les marges mécaniques évaluées sur le cas de référence du dossier.

L'IRSN estime que le choix et la gamme de variation des paramètres testés dans les études de sensibilité réalisées permettent de couvrir les conditions de fonctionnement envisageables de façon acceptable.

L'examen des études de sensibilité réalisées par EDF montre que le fait de considérer sous le couvercle de cuve une température ou une vitesse du fluide variables induit un accroissement des fluctuations thermiques de l'ordre de seulement 2 à 4 °C à comparer à environ 25°C de marge vis-à-vis du risque de fatigue thermique. En effet, ces variations ne modifient pas sensiblement la structure de l'écoulement à l'intérieur du tube d'adaptateur, et donc les fluctuations de température induites. De même, l'étude de sensibilité, prenant en compte comme température dans le dôme celle d'un transitoire d'exploitation, montre que les ordres de grandeur de l'amplitude et de la fréquence des fluctuations de température évaluées au niveau des zones d'intérêt ne sont pas mis en cause.

Enfin, l'exploitant a réalisé des études de sensibilité en considérant la variation simultanée de plusieurs paramètres, ce qui constitue un point positif de la démarche. Ces études montrent une faible influence de la combinaison d'hypothèses prises à leur valeur pénalisante.

Ces éléments conduisent l'IRSN à considérer que les fluctuations thermohydrauliques (température et débit) survenant dans le dôme en régime permanent et lors des principaux transitoires d'exploitation ne sont pas en mesure de mettre en cause la marge au risque de fatigue thermique, évaluée par EDF sur le cas de référence (température considérée constante dans le dôme, fluide au repos).

4 CONCLUSION

Pour démontrer l'absence de risque de fissuration par fatigue thermique résultant du retrait de la manchette thermique, EDF s'appuie sur des calculs CFD. En support de ses évaluations, EDF a présenté un dossier de validation

de l'outil de calcul utilisé. Il montre que ce logiciel est capable de représenter correctement les phénomènes physiques d'intérêt, et notamment d'évaluer l'amplitude et la fréquence des fluctuations de température survenant dans une cavité verticale élancée. Néanmoins, la pertinence des cas de validation par rapport au cas réacteur n'est pas pleinement démontrée car, d'une part, les cas de validation valorisés présentent des différences géométriques par rapport au cas réacteur et d'autre part, ils ne considèrent pas de variations temporelles des conditions aux limites.

EDF a présenté des études de sensibilité, permettant d'évaluer l'influence des fluctuations thermohydrauliques, subies par le réacteur pendant son fonctionnement en régime permanent et lors des principaux transitoires d'exploitation, et non couvertes par les cas de validation. Elles montrent que les fluctuations de température survenant à l'intérieur des tubes d'adaptateurs des positions non grappées en l'absence de manchette thermique sont peu sensibles à des variations des conditions initiales et aux limites, la marge avant apparition d'un risque de fatigue thermique restant conséquente. Ces évaluations permettent d'établir la robustesse de la marge au risque redouté de fissuration par fatigue thermique au niveau des zones sensibles, malgré l'absence de prise en compte des incertitudes des grandeurs d'intérêt calculées par l'outil de calcul scientifique et les réserves soulevées.

À l'issue de son analyse, l'IRSN considère que la suppression de la manchette thermique des tubes d'adaptateurs en positions non grappées n'est pas de nature à accroître sensiblement le risque de fissuration par fatigue thermique, malgré les fluctuations thermohydrauliques induites par son retrait. **L'IRSN estime donc acceptable la généralisation de la suppression des manchettes thermiques en positions non grappées du cercle 3 à l'ensemble du palier 1300 MWe.**

Toutefois, au titre de la défense en profondeur, il conviendra qu'EDF prête une attention particulière aux positions non grappées objets de la modification, lors des examens des adaptateurs de couvercle prévus au titre du plan de base de maintenance préventive du palier 1300 MWe.

Pour le Directeur général et par délégation,
Olivier DUBOIS
Adjoint à la directrice de l'expertise de sûreté

Annexe à l'avis IRSN n° 2020-00079 du 26 mai 2020

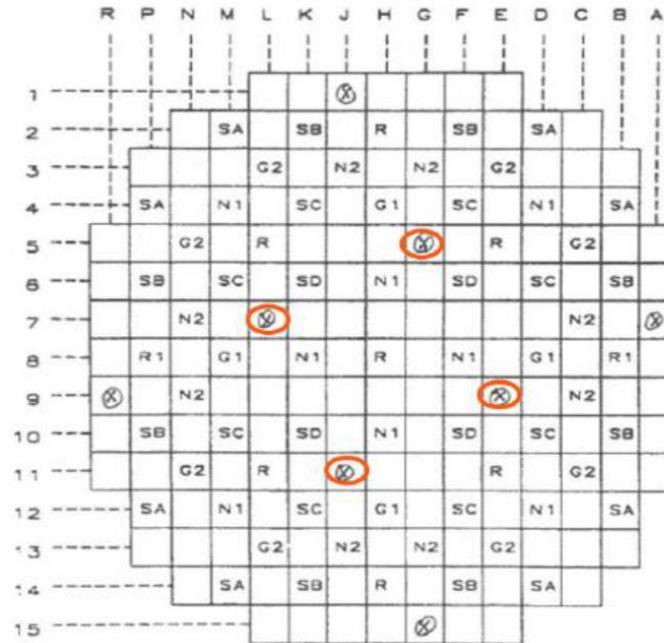


Figure 1 : positions non grappées objets de la modification

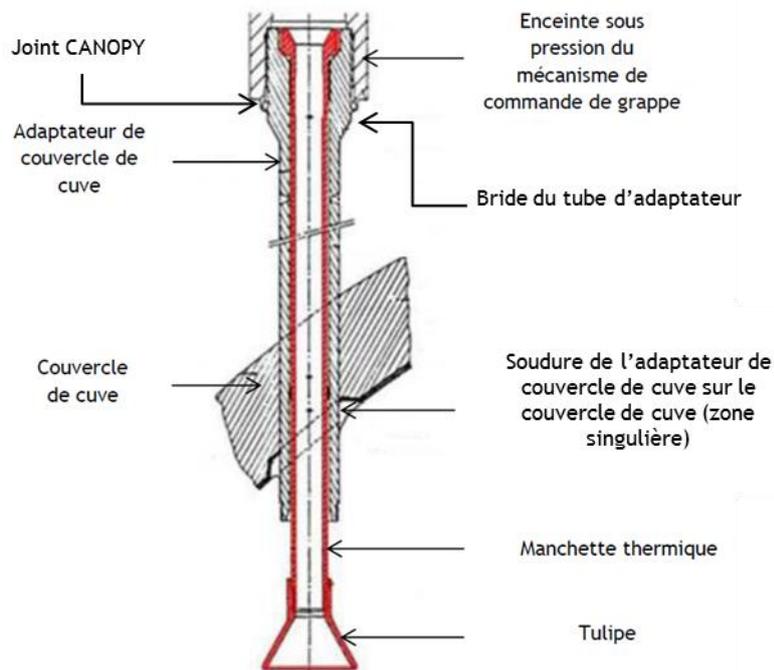


Figure 2 : schéma d'un adaptateur de guide de grappe et de sa manchette thermique (en rouge).