

Fontenay-aux-Roses, le 9 janvier 2018

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2018-00006

Objet : Virole basse 335 de Fessenheim 2 - Dossier de justification de la tenue en service.

Réf. 1. Lettre ASN CODEP-DEP-2017-040496 du 5 octobre 2017.
2. Décision ASN CODEP-DEP-CLG-2016-029245 du 18 juillet 2016 -
Décision suspendant le certificat d'épreuve du générateur de vapeur
n°335 fabriqué par AREVA NP.

Dans le cadre de l'audit mené sur les dossiers de fabrication de la forge du Creusot, des anomalies, relatives à la fabrication de la virole basse n°335 du générateur de vapeur (GV) n°3 du réacteur n°2 de la centrale de Fessenheim, ont été mises en évidence. Il a notamment été identifié que, lors de son forgeage, cette pièce n'avait pas fait l'objet d'un chutage suffisant. L'objectif de cette opération est d'éliminer la ségrégation majeure positive résiduelle de carbone issue du lingot utilisé pour le forgeage.

Cette anomalie, du fait de la modification de la composition chimique de la pièce (présence de ségrégation en carbone), peut induire une dégradation de ses propriétés mécaniques dans les zones ségréguées. Ce constat a conduit l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) à suspendre le certificat d'épreuve de cet équipement, par la décision en référence 2, entraînant l'arrêt du réacteur n°2 de Fessenheim.

Pour justifier la tenue en service de la virole basse malgré la présence d'une zone ségréguée en carbone, l'exploitant a repris l'analyse mécanique du risque de rupture brutale.

L'objectif de l'analyse du risque de rupture brutale d'un équipement est de démontrer l'absence d'initiation d'une rupture à partir d'un défaut connu ou postulé. Cette démonstration requiert plusieurs données d'entrée :

- la taille et la position des défauts connus (le cas échéant) et de ceux postulés, en tenant compte de la limitation des moyens de contrôle ;
- les propriétés mécaniques du matériau, notamment la ténacité de l'acier en fonction de la température (qui est affectée par sa teneur en carbone) ;
- les transitoires thermohydrauliques sollicitant ces défauts.

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

L'exploitant a caractérisé l'étendue des zones ségréguées et leur impact sur les propriétés mécaniques du matériau. À l'issue de son analyse, il estime notamment que la zone ségréguée est située en paroi interne ou proche de cette paroi, en partie supérieure de la virole basse (cf. Figure 1 en annexe).

Compte tenu de la position de la zone ségréguée, la combinaison pénalisante vis-à-vis du risque de rupture brutale consiste à postuler un défaut en paroi interne à la jonction entre la virole basse et la virole médiane, et à considérer un transitoire thermohydraulique générant un choc thermique froid. Le dossier transmis par l'exploitant inclut ainsi l'identification puis la caractérisation¹ des transitoires thermohydrauliques de chocs froids pénalisants.

Par la saisine en référence 1, l'ASN sollicite l'avis de l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) sur l'évaluation des transitoires thermohydrauliques susceptibles de générer un choc froid sur la virole, et plus particulièrement sur :

- l'exhaustivité des situations retenues par l'exploitant ;
- la validation du logiciel ANETH, utilisé pour caractériser certains transitoires thermohydrauliques ;
- la caractérisation des situations pénalisantes.

L'analyse par l'IRSN de ces trois points, présentée ci-après, suppose que les hypothèses considérées concernant les propriétés mécaniques de la zone ségréguée et la taille de défaut sont acceptables.

Au préalable, les phénomènes physiques dominants survenant au sein de la partie secondaire d'un générateur de vapeur (GV) sont décrits.

Phénoménologie de la thermohydraulique secondaire des générateurs de vapeur

Dans un générateur de vapeur, le fluide primaire circule à l'intérieur de tubes, agencés en faisceau au sein d'une enveloppe métallique. Côté secondaire, lorsque le réacteur est en puissance, l'eau est progressivement portée à ébullition au contact des tubes. Le mélange liquide/vapeur est ensuite séparé à la sortie du faisceau : la vapeur sort au sommet du GV tandis que l'eau liquide redescend, et est dirigée vers le retour d'eau (zone séparant l'enveloppe du faisceau de la paroi extérieure du GV). La perte de masse en eau engendrée par le débit de vapeur est compensée par l'alimentation en eau du GV normale (ARE) ou de secours (ASG). L'eau alimentaire, plus froide que celle du GV, est introduite dans le retour d'eau, par le biais d'un tore d'alimentation (cf. Figure 1 en annexe).

La nature des écoulements internes de la partie secondaire du GV est fonction notamment de la puissance issue du circuit primaire, ainsi que du niveau d'eau dans le GV :

- en régime permanent à puissance nominale, l'existence de vapeur induit une différence de pression entre le faisceau et le retour d'eau, générant une boucle de circulation naturelle, appelée recirculation ;
- cette recirculation cesse lorsque la puissance primaire ne permet plus de maintenir une différence de pression suffisante entre le faisceau et le retour d'eau. Dans ce cas, l'eau alimentaire est injectée directement dans le retour d'eau, sans mélange préalable avec l'eau de recirculation. En fonction du niveau d'eau dans le retour d'eau, cette injection peut se faire dans du liquide (configuration dite à tore d'alimentation noyé) ou dans de la vapeur (configuration dite à tore d'alimentation dénoyé).

Vis-à-vis de chocs froids en paroi interne de la virole basse, l'un des paramètres thermohydrauliques d'entrée des calculs mécaniques est la température du fluide dans le retour d'eau. Elle est influencée par plusieurs mécanismes, à savoir : l'existence ou non d'un débit de recirculation, les échanges thermiques avec les parois du GV et

¹ Il s'agit de la détermination des évolutions de la température, de la pression et du coefficient d'échange fluide/paroi en fonction du temps, évolutions utilisées comme données d'entrée des calculs mécaniques.

l'enveloppe du faisceau, la diffusion de l'eau froide d'alimentation dans l'eau plus chaude du retour d'eau (configuration à tore noyé), et le réchauffement des jets d'eau de l'ASG par la vapeur (configuration à tore dénoyé).

L'enjeu vis-à-vis de l'identification des situations est de couvrir l'ensemble des configurations pénalisantes pour ces mécanismes. Une fois identifiées, il est alors nécessaire de les caractériser de manière enveloppe, c'est-à-dire en pénalisant les différents mécanismes bénéfiques, pour couvrir les incertitudes associées.

Exhaustivité des situations retenues par l'exploitant

L'exploitant a tout d'abord réalisé une sélection des transitoires les plus pénalisants vis-à-vis du risque de rupture brutale en peau interne de la virole basse parmi ceux du Dossier Des Situations² (DDS) du Circuit Secondaire Principal (CSP). Afin de s'assurer de l'exhaustivité des situations ainsi retenues, une démarche additionnelle, identifiant l'ensemble des sources de chocs froids susceptibles d'affecter la virole, a été mise en œuvre. L'application de cette démarche additionnelle n'a pas conduit l'exploitant à identifier de transitoires supplémentaires.

Au cours de l'instruction, l'IRSN a identifié certaines situations potentiellement sollicitantes (situations d'injections d'eau froide de longue durée avec tore noyé d'une part, et à haute pression avec tore dénoyé d'autre part). Ces situations n'avaient pas été identifiées par l'application de la démarche additionnelle de l'exploitant. **En conséquence, l'IRSN considère que l'exhaustivité de la liste des situations prises en compte dans le dossier d'EDF n'est pas acquise.**

Au cours de l'instruction, EDF a caractérisé les transitoires non couverts qui avaient été identifiés par l'IRSN.

Validation du logiciel de thermohydraulique ANETH

La caractérisation des situations retenues par l'exploitant est issue du DDS, présentant l'évolution de paramètres thermohydrauliques globaux (pression secondaire, débit d'injection et débit vapeur, température). Or, les calculs mécaniques nécessitent la connaissance de paramètres thermohydrauliques locaux, au contact de la zone d'intérêt (jonction entre virole médiane et virole basse). À cette fin, le logiciel ANETH est utilisé pour simuler le comportement thermohydraulique de la partie secondaire d'un GV via une modélisation monodimensionnelle. Ce logiciel dispose de modèles spécifiques afin de représenter les conditions thermohydrauliques de la partie secondaire d'un GV.

Au terme de son instruction, l'IRSN estime qu'il existe un certain nombre de lacunes dans la validation de ce logiciel. Notamment, certains des modèles physiques dominants du logiciel ANETH n'ont pas pu être validés dans des conditions représentatives, ou dans des conditions dans lesquelles ces phénomènes seraient aussi isolés que possible les uns des autres. Par ailleurs, certains recalages de modèles sont réalisés sur un nombre de configurations restreint, sans assurance de leur transposabilité aux conditions thermohydrauliques rencontrées lors des différentes situations étudiées.

Le caractère enveloppe des gradients de température calculés par ce logiciel n'est donc pour l'IRSN pas établi.

² Les DDS identifient l'ensemble des situations normales, perturbées, incidentelles et accidentelles dans lesquelles peut se trouver le réacteur. Ils fournissent les chargements à considérer pour la justification du dimensionnement mécanique des composants du réacteur. Les situations sont classées par catégorie en fonction de leur probabilité. Quatre catégories de situations sont considérées : la première comporte une seule situation correspondant au fonctionnement permanent, la 2^{ème} couvre le fonctionnement normal et perturbé, la 3^{ème} couvre les conditions de fonctionnement incidentel et la 4^{ème} les conditions de fonctionnement accidentel hautement improbables.

Caractérisation des transitoires retenus

Afin d'augmenter les marges vis-à-vis du risque de rupture brutale, l'exploitant a proposé une mesure d'exploitation, qui consiste à assurer une température de l'eau du système ASG supérieure ou égale à 15 °C, alors que les spécifications techniques d'exploitation (STE) prescrivent une température minimale de 7 °C. À cet égard, l'exploitant prévoit de déclarer une modification temporaire des STE en application de l'article 26 du décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 modifié.

L'IRSN estime positive la mise en œuvre de cette mesure compensatoire d'exploitation et son intégration dans les STE.

En ce qui concerne les situations additionnelles identifiées au cours de l'instruction, l'IRSN estime leur caractérisation acceptable.

En revanche, l'IRSN estime que la validation du logiciel ANETH n'est pas suffisamment complète pour statuer sur le caractère enveloppe de la caractérisation de certains transitoires de catégorie 2, associés à :

- une baisse de pression et de température des circuits primaire et secondaire associée à l'arrêt du réacteur ;
- une diminution brutale de la température du circuit primaire à l'état monophasique, d'une amplitude de 30 °C.

De plus, dans le cas de transitoires à tore dénoyé, l'IRSN n'a pas l'assurance du caractère conservatif des corrélations utilisées pour le calcul du réchauffement du jet d'eau froide issue de l'ASG dans la vapeur environnante (qui conditionne la température du fluide en contact avec la virole).

Néanmoins, plusieurs points positifs permettent de nuancer ces constats :

- les coefficients d'échange entre le fluide et la virole considérés dans les études mécaniques prennent en compte des conservatismes importants ;
- dans le cas de transitoires à tore dénoyé, des conservatismes importants sont également pris en compte (sont notamment négligés le réchauffement de l'eau issue de l'ASG dans le tore, ainsi que le réchauffement survenant lors de son ruissellement le long de la virole de pression) et permettent de couvrir les différentes réserves identifiées vis-à-vis du calcul du réchauffement du jet d'eau froide issue de l'ASG par la vapeur ;
- les résultats des calculs mécaniques mettent en évidence l'existence de marges importantes vis-à-vis du risque de rupture brutale de la virole.

Enfin, compte tenu des réserves de l'IRSN quant à la caractérisation de certaines situations de catégorie 2, EDF a complété son dossier en fin d'instruction par la réalisation de calculs mécaniques prenant en compte des chargements thermohydrauliques découplés et pénalisants. Il s'agit de chocs froids instantanés à une pression de 1 bar et à une température initiale de 100 °C, la température finale variant de 50 °C à 7 °C. Il est également fait l'hypothèse d'un échange parfait entre le fluide et la paroi.

Ces études supplémentaires, démontrant la robustesse de la zone affectée par la ségrégation vis-à-vis du risque de rupture brutale suite à un choc froid, permettent de couvrir les réserves susmentionnées quant à l'exhaustivité des situations et la caractérisation de certaines situations de catégorie 2.

Conclusion

In fine, compte tenu des compléments apportés par EDF au cours de l'instruction, l'IRSN a la raisonnable assurance que le risque de rupture brutale de la virole basse n° 335 du générateur de vapeur n° 3 du réacteur n° 2 de la centrale de Fessenheim peut être écarté, sous réserve du caractère acceptable des autres données d'entrée des études mécaniques (taille des défauts postulés et propriétés mécaniques du matériau). Ainsi, vis-à-vis du volet thermohydraulique, il n'est pas nécessaire de mettre en place des mesures compensatoires, autres que celle déjà prévue concernant la température minimale de l'eau de l'ASG.

Pour le Directeur général et par délégation,

Frédérique PICHEREAU

Adjoint au directeur de l'expertise de sûreté

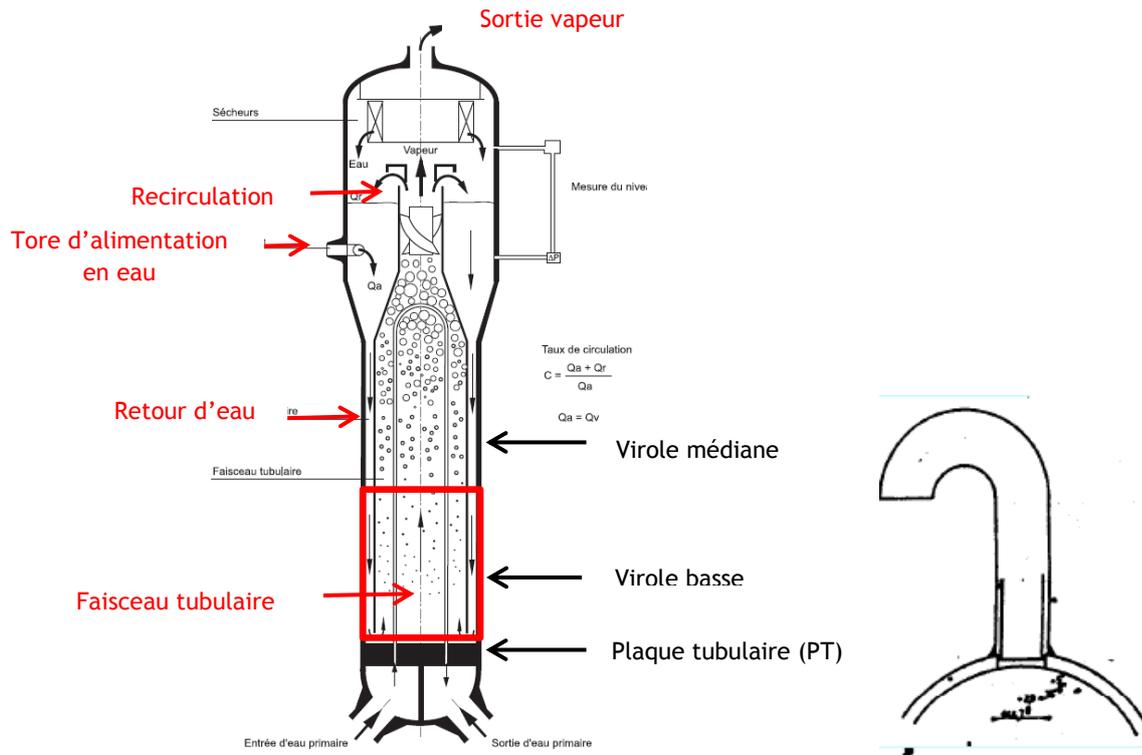


Figure 1 : Schéma de principe d'un générateur de vapeur³ ; coupe transverse du tore d'alimentation en eau avec J-tube.

³ Figure d'origine issue de « La Chaudière des réacteurs à eau sous pression, de P. Coppolani, N. Hassenboehler, J. Joseph, J.F. Petretot, J.P. Py, J.S Zampa, 2004 ».