

Fontenay-aux-Roses, le 27 mars 2018

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2018-00077

Objet : Réacteur EPR de Flamanville 3 - Branches primaires en acier inoxydable austénitique - caractérisation de l'impact des survitesses sur les résultats des essais de traction

Réf. Lettre ASN CODEP-DEP-2017-030668 du 21 novembre 2017

À la suite de la détection d'anomalies sur les essais de traction réalisés dans son laboratoire du Creusot entre 2007 et 2014, AREVA NP, désormais FRAMATOME, a déclaré une non-conformité relative aux vitesses de traction des essais de recette des tuyauteries en acier inoxydable austénitique constituant les tuyauteries du circuit primaire principal (CPP) du réacteur EPR de Flamanville 3. La vitesse de traction durant l'essai est normalement pilotée grâce aux données enregistrées par l'extensomètre en contact avec l'éprouvette de traction. Une anomalie liée à l'extensomètre a conduit à l'application de vitesses de traction significativement supérieures aux valeurs maximales définies. De plus, les données provenant de l'extensomètre s'avèrent inexploitable pour un éventuel dépouillement de l'essai a posteriori.

Ces vitesses de traction anormalement élevées, appelées survitesses car elles sont supérieures aux exigences définies dans les règles de conception et de construction des matériels mécaniques (RCC-M), sont susceptibles d'avoir un impact sur la limite d'élasticité et la résistance à la rupture du matériau prélevé en zone de recette. Il est en effet admis que, pour ce type de nuance d'acier inoxydable à basse teneur en carbone, l'augmentation de la vitesse de traction conduit à une augmentation des valeurs de résistance déterminées par l'essai. Les propriétés réelles du matériau des tuyauteries seraient alors inférieures aux propriétés mesurées à la recette et ainsi non-conformes au référentiel normatif référencé par le code RCC-M.

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

Par la lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) souhaite recueillir l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur :

- les conclusions du fabricant relatives à l'absence d'impact d'une survitesse lors des essais de traction sur les propriétés mécaniques à température ambiante ;
- les conclusions du fabricant sur la conformité des essais initiaux pour des ratios de vitesses compris entre 1 et 1,05 ;
- la représentativité des essais réalisés ;
- les résultats et les conclusions du fabricant quant à l'impact des survitesses sur les propriétés mécaniques de traction des aciers inoxydables austénitiques à 350 °C ;
- la méthodologie des facteurs d'abattement proposée par AREVA NP.

Dossier du fabricant

Les essais concernés par la non-conformité sont les essais de recette des composants suivants du CPP :

- les tronçons droits des branches froides ;
- les tronçons droits des branches chaudes ;
- les coudes 50 ° des branches chaudes ;
- les branches en U ;
- les piquages connectés aux branches primaires.

Afin d'évaluer le risque de surestimation des propriétés de résistance mécanique, et à la demande de l'ASN, le fabricant a tout d'abord dressé l'inventaire des essais non-conformes en vitesses. Les vitesses de traction ont été établies à partir des données expérimentales de déplacement de la traverse de la machine de traction, enregistrées en complément des données de l'extensomètre défectueux, et traitées a posteriori pour permettre leur exploitation. Le fabricant considère que l'essai est non-conforme lorsque la vitesse appliquée est supérieure d'au moins 5 % à la valeur maximale autorisée par le référentiel normatif référencé par le code RCC-M.

D'après les conditions de réalisation de ces essais et les valeurs de survitesses établies, le fabricant conclut que :

- l'impact est négligeable pour les essais réalisés à 20 °C compte tenu du fait que la vitesse de déformation instantanée appliquée en régime élastique ne dépasse pas la vitesse de traction maximale autorisée par le RCC-M de plus de 20 %. Les vitesses de traction en régime plastique ne dépassent pas les valeurs maximales admissibles de plus de 3 %. De plus, le fabricant considère que les propriétés mécaniques obtenues sont significativement supérieures aux valeurs minimales exigées. Ainsi, il n'y a pas de conséquence sur la résistance mécanique ;

- l'impact à 350 °C nécessite d'être établi grâce à des investigations complémentaires compte tenu du fait que des valeurs de vitesses pouvant atteindre 20 fois la vitesse maximale de traction autorisée par le RCC-M ont été relevées.

De plus, cet inventaire a montré que deux essais de recette réalisés à 350 °C n'ont pas été totalement renseignés. Les données de déplacement de la traverse de la machine de traction sont manquantes pour établir la valeur de vitesse réellement appliquée lors de ces essais de traction à 350 °C.

Pour certains des composants concernés, de la matière résiduelle était disponible. Le fabricant a alors réalisé de nouveaux essais de traction à 350 °C dans les conditions conformes au référentiel.

Pour d'autres composants, aucune matière résiduelle ne permet de réaliser de nouveaux essais de traction à 350 °C dans les conditions expérimentales conformes au RCC-M. Ainsi le fabricant propose d'appliquer une « décote » aux propriétés mécaniques mesurées en condition de survitesse. Afin de déterminer cette décote, le fabricant a réalisé une campagne expérimentale d'essais de traction sur du matériau de tuyauterie primaire forgée, considéré représentatif par ce dernier. Cette matière provient de composants fabriqués pour les contrats d'approvisionnement des réacteurs de Flamanville 3 et Taishan 2 (Chine), tous fabriqués à l'usine de Creusot Forge et approvisionnés par le même aciériste. Quatre séries d'essais sont effectuées sur chaque composant :

- une dans les conditions de vitesse de traction conformes au référentiel ;
- les trois autres dans des conditions de survitesses différentes en régime de déformation (deux en régime élastique, une en régime plastique) et suivant une gamme de survitesses permettant de couvrir celles des essais non conformes.

À partir des résultats de ces essais, le fabricant conclut que l'impact de ces survitesses sur les propriétés de traction à 350 °C est faible, voire conduit à une évolution des propriétés contraire à ce qui pouvait être initialement attendu. En effet, les survitesses les plus élevées conduisent à une augmentation maximale de 5 MPa de la limite d'élasticité mesurée à 350 °C et d'un effet nul voire d'une diminution de la résistance à la rupture mesurée à 350 °C. Le fabricant explique ce résultat par l'apparition d'un phénomène de vieillissement dynamique sous déformation qui conduit à l'affaiblissement des propriétés de traction dans cette gamme de température.

En conclusion, pour les pièces dont toutes les conditions expérimentales des essais de recette sont connues mais pour lesquelles de la matière résiduelle n'est plus disponible, le fabricant propose d'appliquer une décote de 5 MPa sur la limite d'élasticité à 350 °C lorsque le ratio de survitesse¹ est compris entre 4 et 20. Pour les autres valeurs de ce ratio, aucune décote n'est appliquée.

Pour une branche chaude et une branche froide du CPP, pour lesquelles de nouveaux essais ne peuvent être réalisés par manque de matière résiduelle disponible, une seconde difficulté apparaît. En effet, pour ces

¹ Le ratio de survitesse est le rapport entre la vitesse de traction enregistrée lors de l'essai initial, non conforme, sur la vitesse de traction maximale conforme au référentiel.

deux pièces les données de déplacement de la traverse, nécessaires pour déterminer la survitesse initialement appliquée à l'essai de traction à 350 °C, sont manquantes. Ces pièces sont utilisées pour fabriquer les piquages de la branche froide et les piquages de la branche chaude.

Ainsi, la décote à appliquer aux propriétés de traction ne peut être déterminée à partir du programme expérimental évoqué précédemment. Le fabricant propose alors d'évaluer les propriétés à 350 °C pour chacune de ces pièces à partir des résultats des essais de traction mesurés à 20 °C. Le ratio de ces deux valeurs de limite d'élasticité permet d'établir un coefficient multiplicateur, appelé par le fabricant « facteur d'abattement ». Le facteur d'abattement est déterminé par analyse statistique des ratios obtenus sur une population d'essais de traction donnée. La population exploitée est l'ensemble des résultats des essais de traction pour lesquels une survitesse peut avoir été appliquée. A partir des 186 couples de résultats d'essais exploités à 20 °C et à 350 °C, le fabricant détermine un ratio maximum de 2,14 sur l'ensemble de la population investiguée. En appliquant ce facteur de 2,14 à la limite d'élasticité obtenue à 20 °C, le fabricant obtient, pour les piquages prélevés dans le tronçon droit de la branche chaude, une limite d'élasticité à 350 °C inférieure à la valeur minimale exigée. Le fabricant signale que, pour cette pièce, une reprise des analyses de mécanique sera nécessaire.

Analyse de l'IRSN

Le fabricant considère conformes les essais de traction dont les vitesses appliquées lors des essais initiaux ne dépassent pas la valeur maximale autorisée de plus de 5 %. Ce faible dépassement est considéré par l'IRSN comme acceptable compte tenu du fait des incertitudes intrinsèques liées à la réalisation d'un essai de traction. Ainsi, la conclusion du fabricant n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN.

Le fabricant considère l'impact des survitesses négligeable sur les valeurs de propriétés mécaniques mesurées à 20 °C. En effet, les survitesses appliquées n'excèdent pas 20 % de la valeur maximale autorisée et les propriétés mécaniques mesurées présentent une marge significative par rapport aux valeurs minimales exigées. Cette conclusion du fabricant n'appelle pas de remarque de l'IRSN.

Pour les essais dont la vitesse appliquée dépasse la valeur maximale autorisée de plus de 20 %, la démarche du fabricant consiste à refaire les essais lorsque de la matière résiduelle est disponible, dans des conditions expérimentales conformes au RCC-M. Le nouvel essai fournit alors les valeurs de limite d'élasticité et de résistance à la rupture finalement retenues en recette. Ceci n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN.

Pour les composants pour lesquels de nouveaux essais de recette n'ont pas pu être réalisés, faute de matière résiduelle disponible, la démarche du fabricant consiste à appliquer une décote établie à partir d'un programme expérimental sur des pièces représentatives. Le caractère représentatif des matériaux utilisés par le fabricant pour caractériser l'effet des survitesses n'appelle pas de commentaire de la part de l'IRSN dans la mesure où les approvisionnements et les procédés de fabrication sont semblables entre les composants à justifier et les composants sacrificiels.

Les résultats d'essais obtenus montrent que les survitesses relevées ont un effet mineur sur les propriétés de traction à 350 °C. L'IRSN ne dispose d'aucun élément permettant de confirmer ou d'infirmer que le phénomène de vieillissement dynamique est de nature à expliquer ces résultats. La méthode expérimentale employée par le fabricant et les résultats associés n'appellent, en revanche, pas de commentaire de la part de l'IRSN. La décote maximale de 5 MPa proposée par le fabricant pour être appliquée aux propriétés de traction mesurées en recette à 350 °C est jugée acceptable.

Pour les deux pièces dont les données des essais de traction initiaux sont manquantes, le fabricant a évalué les propriétés de traction à 350 °C à partir des propriétés mesurées à 20 °C en leur appliquant un facteur d'abattement. Ce facteur est estimé à partir de 186 couples de données qui constituent un échantillon significatif. L'IRSN note cependant que les données à 20 °C et à 350 °C constituant chaque couple peuvent avoir été obtenues dans des conditions de vitesses de traction différentes. Ceci aurait pu constituer un biais dans l'exploitation des données si les survitesses de traction avaient eu un effet sur les résultats. Un tel biais n'est cependant pas significatif compte tenu des conclusions du programme expérimental réalisé par le fabricant. La méthode d'établissement du facteur d'abattement n'appelle donc pas de commentaire de la part de l'IRSN.

Au terme de son évaluation, l'IRSN estime acceptable la démarche du fabricant, cette dernière comportant des conservatismes significatifs. Les conclusions du fabricant n'appellent donc pas de commentaire de la part de l'IRSN.

Pour le Directeur général et par délégation,

Thierry Payen

Adjoint à la Directrice des systèmes, des nouveaux réacteurs
et des démarches de sûreté