

Fontenay-aux-Roses, le 16 décembre 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2016-00405

Objet : Transport - Étude générique - Méthodologie générale de contrôle par ultrasons des soudures de fortes épaisseurs

Réf. Lettre ASN CODEP-DTS-2015-017330 du 30 avril 2015.

Par lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur les contrôles non destructifs par ultrasons retenus par la société AREVA TN pour l'examen des soudures entre composants forgés constituant le corps des emballages.

Cette demande s'intègre dans le cadre plus large de la définition d'une méthode d'évaluation des risques de rupture fragile des composants par la société AREVA TN.

Contexte

Dans le cadre du renouvellement du parc d'emballages dédiés aux transports des assemblages combustibles irradiés, la société AREVA TN développe un nouveau modèle de colis dénommé TN G3. Ce concept repose sur une virole épaisse en acier au carbone soudée à une pièce de fond forgée.

Dans ce cadre, la société AREVA TN développe une méthodologie d'évaluation des risques de rupture brutale des composants de l'enveloppe de confinement en acier au carbone à l'issue des épreuves de chute réglementaires simulant les conditions accidentelles de transport.

Ainsi, le requérant a réalisé un inventaire des défauts susceptibles d'être présents dans les composants forgés et les soudures des emballages fabriqués en précisant, d'une part la probabilité d'existence de chacun de ces défauts, d'autre part leur possibilité de détection par les contrôles ultrasons mis en œuvre lors des opérations de fabrication. Il a donc présenté une procédure générale définissant les principes retenus pour les contrôles par ultrasons des composants forgés et des soudures des nouveaux emballages.

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 B 440 546 018

La méthodologie de contrôle des composants forgés et celle dédiée au contrôle des soudures de forte épaisseur des emballages ont déjà été expertisées par l'IRSN. À cet égard, l'IRSN avait indiqué que le requérant devait notamment :

- réviser sa méthodologie générale de contrôle par ultrasons en appliquant, pour les composants forgés, des critères de notation, d'acceptation et d'investigation des défauts et anomalies a minima équivalents à ceux prévus pour la classe de qualité 3 de la norme NF EN 10228-3.
- compléter la qualification de la méthode de contrôle par ultrasons, dénommée "Time Of Flight Diffraction" (TOFD), pour les soudures de pièces de très forte épaisseur. A cet égard, la note de méthodologie du requérant présentait les bases techniques pour l'établissement des procédures de contrôle par ultrasons reposant sur la mise en œuvre de la technique TOFD.

Dans le dossier examiné, les spécifications de contrôle des composants forgés en acier ferritique ont été modifiées afin de prendre en compte la recommandation de l'IRSN, ce qui est satisfaisant.

Pour ce qui concerne la méthode de contrôle des soudures de pièces de très forte épaisseur par ultrasons, le requérant a transmis des justifications complémentaires visant à démontrer la pertinence de la mise en œuvre du dispositif de contrôle (TOFD). Ces justifications reposent notamment sur des essais de qualification. En complément, le requérant a défini des spécifications de contrôle à destination des fabricants pour le développement de leurs procédures de contrôle, avec une définition des critères de performance attendus pour le TOFD.

De l'examen des compléments transmis par la société AREVA TN, l'IRSN retient les points ci-après.

Démonstration de performance des méthodes de contrôles

La société AREVA TN prévoit d'utiliser plusieurs méthodes de contrôle, qui incluent les dispositifs TOFD, les transducteurs à ondes rampantes et un traducteur à ondes longitudinales. À cet égard, le dimensionnement des défauts est réalisé avec les dispositifs TOFD, les transducteurs à ondes rampantes et le traducteur à ondes longitudinales ne permettant qu'une détection d'un défaut.

La société AREVA TN présente l'ensemble des résultats des essais réalisés pour justifier la performance des méthodes de contrôles qui sont destinées à être mise en œuvre sur les futurs emballages fabriqués par la société AREVA TN.

Les essais ont été réalisés sur des viroles avec une épaisseur représentative des emballages. En outre, différentes configurations de revêtement de la virole ont été prises en compte (surfaces interne et externe sans revêtement, surface interne avec un revêtement, surfaces interne et externe avec un revêtement sur la totalité ou sur une partie de la surface externe au voisinage de la soudure).

Méthode de contrôle TOFD

Préalablement à ces essais, la société AREVA TN a testé différents choix techniques relatifs à la mise en œuvre du contrôle TOFD, qui incluent les équipements électroniques d'acquisition, les traducteurs (caractéristiques, nombre de dispositifs, fréquence...). Les choix techniques *in fine* retenus pour la méthode TOFD répondent à minima aux exigences des normes en vigueur.

Pour valider la zone de couverture en profondeur de la soudure à contrôler et évaluer les performances de détection de chacun des dispositifs TOFD, la société AREVA TN a fabriqué un ensemble de 4 maquettes réalisées à partir d'un coupon prélevé dans une soudure bout à bout entre 2 anneaux identiques en acier ferritique d'épaisseur e . Les épaisseurs de ces maquettes sans revêtement correspondaient à celles des tranches à contrôler par chacun des dispositifs (soit $1/4 e$, $1/2 e$, $3/4 e$ et e). Les maquettes comportaient un ensemble de défauts types permettant la calibration et l'évaluation des performances du dispositif de contrôle.

La couverture de zone et les performances de détection de chacun des quatre dispositifs ont ainsi été évaluées en mesurant les signaux de diffraction sur les sommets de défauts réalisés dans les quatre maquettes. Cette étape a permis de mesurer l'amplitude de ces signaux et le rapport signal sur bruit en début et en fin de tranche à contrôler par chaque dispositif.

Pour le cas des soudures entre composants non revêtus d'épaisseur la plus faible considérée, la détection de petits défauts implantés dans les maquettes est généralement bien assurée par l'ensemble des dispositifs de contrôle par ultrasons TOFD sauf dans les premiers millimètres.

Pour couvrir les soudures réalisées sur des composants d'épaisseur la plus forte considérée, une maquette spécifique a été réalisée. Dans ce cadre, la société AREVA TN a implanté dans cette maquette, sans revêtement, un défaut de type entaille du côté opposé à la surface de sondage. Les performances attendues sont généralement atteintes, notamment le signal de diffraction au niveau de l'entaille est discernable de l'écho de fond.

Toutefois, pour les viroles de forte épaisseur, le rapport signal/bruit doit faire l'objet d'une attention. La phase de qualification apparaît donc importante et l'IRSN considère que le système TOFD doit être calibré sur une maquette d'épaisseur identique à la soudure à contrôler. Ce point est repris dans la suite du présent avis.

Pour ce qui concerne l'évaluation de l'influence du revêtement des viroles, les viroles constituant les emballages développés par la société AREVA TN peuvent être munies d'un revêtement interne et externe ou seulement d'un revêtement interne. Le revêtement externe peut conduire à une atténuation des ondes ultrasonores qui sera d'autant plus importante que la fréquence du traducteur est élevée et que l'épaisseur du revêtement est importante. Afin d'évaluer l'influence du revêtement sur les performances de détection du contrôle TOFD, des essais complémentaires ont été réalisés par la société AREVA TN. À cet égard, elle a utilisé un bloc, sur lequel un revêtement d'une épaisseur connue a été déposé en deux couches côtés externe et interne. Ce bloc était de la même nuance que celle des blocs en acier ferritique utilisés lors des autres essais. Des défauts ont été simulés dans ce bloc.

Lors de ces essais, le contrôle TOFD n'a pas détecté l'entaille située sous le revêtement du côté contrôlé. Par ailleurs, ces essais n'ont pas permis de déterminer la profondeur à partir de laquelle les dispositifs TOFD sont en mesure de détecter des défauts. De plus, la sensibilité du signal dépend des conditions de revêtement (état de surface, nombre de couche, technique de dépose...). Ces éléments illustrent pour l'IRSN la nécessité d'avoir une maquette de référence, utilisée pour la calibration du dispositif, avec le même revêtement que celui appliqué à la virole. Ce point est repris dans la suite du présent avis.

Méthode de contrôle avec les transducteurs à ondes rampantes

La méthode utilisant le transducteur à ondes rampantes (creeping waves) permet de contrôler les premiers millimètres de la soudure. Afin de valider les performances de détection de cette méthode, la société AREVA TN a repris la maquette sans revêtement d'épaisseur « 1/4 e » utilisée pour la méthode TOFD. Les performances du traducteur à ondes rampantes sont donc étudiées avec les mêmes défauts types. Pour rappel, le transducteur à ondes rampantes ne permet que la détection des défauts. Le dimensionnement de ces défauts n'est pas possible.

Des essais, il ressort que les performances de détection du transducteur à ondes rampantes sont satisfaisantes pour la détection des défauts situés dans les premiers millimètres de la soudure.

Afin d'évaluer l'influence de revêtement, des essais complémentaires ont été réalisés avec un bloc sur lequel un revêtement a été déposé côtés externe et interne. Ce bloc est le même que celui utilisé pour les dispositifs TOFD. Lors des essais, le transducteur à onde rampante a détecté l'entaille située sous le revêtement du côté contrôlé avec un rapport signal/bruit satisfaisant.

Méthode de contrôle avec les transducteurs à ondes longitudinales

La méthode de contrôle avec le traducteur à ondes longitudinales à 0° vise à s'assurer de l'absence de défauts orientés transversalement par rapport à la soudure ou parallèlement à la surface.

Pour les essais, la société AREVA TN reprend une maquette en acier ferritique sans revêtement, utilisée pour la méthode TOFD. Elle contient deux défauts orientés longitudinalement et transversalement en paroi interne, c'est-à-dire la surface opposée à la surface de palpage.

Avec le traducteur à ondes longitudinales à 0°, il apparaît que les échos de diffraction sur les sommets des deux défauts sont bien observés, ils se détachent bien du fond de la pièce. Les essais n'ont toutefois pas abordé le cas des surfaces revêtues. De plus, l'épaisseur de la soudure contrôlée par ce traducteur n'est pas traitée dans l'étude générique.

Par ailleurs, le dimensionnement des défauts détectés n'est pas réalisé avec le traducteur à ondes longitudinales. De ce fait, l'IRSN considère que la société AREVA TN devrait préciser comment sera réalisé le dimensionnement d'un éventuel défaut détecté à l'aide du traducteur à ondes longitudinales à 0°, en cohérence avec les objectifs de détection. L'IRSN considère également que la société AREVA TN devrait s'assurer que les contrôles mis en place permettent de détecter des défauts transversaux dans la soudure, compte tenu notamment de l'existence d'une zone morte avec le traducteur à ondes longitudinales à 0°. Ces points font l'objet de la recommandation n° 1.2 présentée en annexe 1 du présent avis.

Les essais réalisés montrent qu'il est nécessaire de coupler les dispositifs TOFD avec des transducteurs à ondes rampantes pour contrôler les viroles revêtues. Quelle que soit l'épaisseur de la pièce contrôlée, revêtue ou non, la détection de défauts plans de faible hauteur est en règle générale correctement assurée avec les dispositifs TOFD complétés par le traducteur à ondes rampantes. Toutefois, les performances de dimensionnement des défauts ne sont pas acquises, ni abordées dans le dossier de justification technique, en particulier pour des défauts situés à proximité de la surface externe (à partir de laquelle est réalisée le contrôle).

Aussi, l'IRSN considère que la société AREVA TN devrait évaluer les capacités de dimensionnement des défauts détectés à proximité immédiate de la surface de sondage. De plus, l'IRSN estime que le requérant devrait préciser les limites de la méthode de dimensionnement par diffraction utilisée à partir de la surface externe pour les emballages non revêtus et à partir de l'interface revêtement/acier ferritique pour les emballages revêtus extérieurement, y compris lorsque le revêtement est déposé localement autour de la soudure. Ces points font l'objet de la recommandation n° 1.1 présentée en annexe 1 du présent avis.

Spécifications pour les contrôles TOFD des soudures de forte épaisseur des viroles

À partir des essais, la société AREVA TN établit les exigences techniques destinées aux sous-traitants chargés de la réalisation des soudures des viroles. Celles-ci décrivent les objectifs à atteindre en termes de performances et les justifications documentaires à apporter.

L'IRSN considère que la spécification rédigée par la société AREVA TN décrit correctement les exigences attendues pour la mise en œuvre des contrôles ultrasons réalisés avec une technique de détection et de dimensionnement de défauts qui repose sur la méthode TOFD, complétée par un examen en ondes rampantes et en ondes longitudinales à 0°.

La société AREVA TN spécifie également les attendus pour assurer le suivi des travaux de mise au point des méthodes et des contrôles réalisés par les sous-traitants. Ces exigences lui permettront de relire voire réinterpréter les résultats des essais de mise au point définitifs puis les contrôles réalisés sur les soudures des emballages.

À cet égard, elle préconise la réalisation d'essais préalables sur des maquettes représentative de la virole à contrôler, avec une tolérance sur leur épaisseur. Néanmoins, l'IRSN considère que cette tolérance est trop importante pour vérifier sans ambiguïtés et avec un très bon rapport signal sur bruit, les performances des différents dispositifs par rapport à celles attendues sur des défauts situés en extrémité de tranche. En effet, pour des composants de forte épaisseur, les performances en termes de rapport signal sur bruit décroissent en fonction de l'épaisseur à nombre de dispositifs TOFD constant.

Aussi, l'IRSN considère que des maquettes d'épaisseur équivalente à celle des soudures des emballages fabriqués devraient être utilisées. En particulier, le volume de matière de la maquette devrait permettre d'éviter des perturbations acoustiques telles que celles rencontrées sur des maquettes trop étroites ou sur des défauts insuffisamment éloignés des bordures des maquettes.

La présence d'un revêtement sur l'emballage devra également être simulée sur les maquettes de manière représentative (nature, épaisseur, nombre de couches, mode de dépose ..).

Enfin, l'IRSN recommande que les meilleures conditions de rapport signal sur bruit soient recherchées en visant, a minima, un rapport supérieur à 9 dB, sauf justification particulière. Pour les emballages de très forte épaisseur, l'augmentation du nombre de dispositifs est à privilégier. Ces points font l'objet des recommandations n° 2.1 et 2.4 en annexe 1 du présent avis.

La spécification technique transmise par le requérant précise correctement les valeurs limite de chaque paramètre à évaluer tels que l'amplitude du signal à obtenir et le rapport signal sur bruit. En dehors des points précisés ci-avant, elles n'appellent pas de remarque.

En outre, l'IRSN relève les points suivants :

- la société AREVA TN précise que les opérateurs chargés de réaliser les contrôles sur les soudures devront être certifiés selon la SNT-TC-1A relative au programme interne de certification et de qualification du personnel des essais non destructifs (norme américaine), la norme EN ISO 9712 relative à la qualification et certification du personnel des essais non destructifs ou équivalent. Toutefois, la SNT-TC-1A est une recommandation relative à des connaissances plutôt générales en vue d'une certification. Elle ne constitue pas une certification délivrée par l'ASNT (american society for non destructive testing), la COFREND ou un organisme de certification équivalent. Par ailleurs, une certification spécifique aux contrôles TOFD a été créée à la COFREND depuis 2011. **Il conviendrait donc que la société AREVA TN examine la certification des opérateurs de ses sous-traitants qui n'ont pas été délivrées par la COFREND, afin de vérifier que les connaissances pour la mise en œuvre du TOFD sont proches de celles retenues par la COFREND.** Ceci fait l'objet de la recommandation 2.2 présentée en annexe 1.
- pour la réalisation des maquettes, la société AREVA TN se réserve la possibilité de réaliser des entailles dont l'ouverture peut être au maximum équivalente au quart de la longueur d'onde, ce qui peut conduire dans le cas des traducteurs utilisant les plus basses fréquences, à des largeurs relativement importantes au regard des phénomènes de diffraction que l'on souhaite mettre en évidence. Or les fabricants peuvent réaliser couramment des défauts de largeur 0,2 mm dans l'industrie nucléaire. Aussi, **l'IRSN préconise de retenir la valeur courante de 0,2 mm d'ouverture de défaut pour réaliser les essais ou les étalonnages relatifs aux phénomènes de diffraction.** Ceci fait l'objet de la recommandation 2.3 présentée en annexe 1.
- la proposition de conception de maquette de type blocs présentée dans la spécification, qui inclut l'implantation de certains défauts pour vérifier la capacité de détection par diffraction en fin de tranche de chacun des dispositifs pourrait conduire à de nombreux problèmes d'effet de bord. Ces derniers devraient toutefois être évités moyennant la prise en compte de la recommandation n°2.1 présentée en annexe 1.

Critère d'acceptation des défauts

Dans sa spécification technique, la société AREVA TN définit les critères d'acceptation des défauts en se basant sur la norme EN ISO 15626, relative aux niveaux d'acceptation pour la technique TOFD utilisée sur des joints soudés à pleine pénétration pratiqués sur des aciers ferritiques d'épaisseur comprise entre 6 mm et 300 mm. **Aucune justification technique n'accompagne cette définition dans les démonstrations de performances de la méthode TOFD.**

À cet égard, pour l'IRSN, au titre des bonnes pratiques et de manière à dégager des marges de sûreté, les contrôles réalisés en fabrication ne doivent pas se limiter à la détection des défauts

pour lesquels le comportement mécanique de l'emballage est justifié. **La meilleure qualité de conception et de fabrication, raisonnablement atteignable compte tenu des techniques de contrôles disponibles, doit être recherchée.**

À cet égard, le choix des critères qui conduisent au rejet d'un composant n'a pas été explicitement abordé par la société AREVA TN dans le cadre de l'évaluation des performances de la technique TOFD. Il convient de s'assurer que ces critères seront applicables pour tous les modèles de colis utilisant ce type d'acier ferritique et que le critère d'accumulation de défauts retenus est cohérente avec les démonstrations réalisées pour les modèles de colis.

Conclusion

Au regard des justifications transmises par la société AREVA TN, l'IRSN estime la qualification de la méthode de contrôle TOFD complétée par l'usage de transducteurs à ondes rampantes et du traducteur à ondes longitudinales à 0° est globalement satisfaisante. Toutefois, la qualification réalisée devrait être complétée en tenant compte des recommandations formulées en annexe 1 du présent avis.

Par ailleurs, les critères de rejets et ceux retenus pour réaliser des réparations éventuelles devront faire l'objet, selon l'IRSN, de réflexions complémentaires.

En outre, il conviendrait que les spécifications techniques destinées aux fabricants d'emballage en prennent en compte les recommandations formulées en annexe 1 du présent avis.

Pour le Directeur général et par délégation,
Igor LE BARS,
Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'avis IRSN n° 2016-00405 du 16 décembre 2016

Recommandations de l'IRSN

1 Démonstrations de performance

- 1.1 Le requérant devra évaluer les capacités de dimensionnement des défauts détectés situés à proximité immédiate de la surface de sondage (revêtue ou non). À cet égard, il devra préciser les limites de la méthode de dimensionnement par diffraction utilisée à partir de la surface externe pour les emballages non revêtus et à partir de l'interface revêtement/acier ferritique pour les emballages revêtus extérieurement, y compris lorsque le revêtement est déposé localement autour de la soudure.
- 1.2 Le requérant devra préciser comment sera réalisé le dimensionnement d'un défaut détecté à l'aide du traducteur à ondes longitudinales à 0°. À cet égard, il devra s'assurer que les contrôles mis en place permettent de détecter des défauts transversaux dans la soudure, compte tenu notamment de l'existence d'une zone morte avec le traducteur à ondes longitudinales à 0°.

2 Spécifications techniques

- 2.1 Le requérant devra prescrire l'usage de maquettes d'épaisseur la plus proche possible de celle des soudures des emballages fabriqués, un volume de matière évitant des perturbations acoustiques telles que celles rencontrées sur des maquettes trop étroites ou pour des défauts insuffisamment éloignés des bordures de maquettes. Le cas échéant, il devra spécifier que la maquette a un revêtement similaire à celui de l'emballage contrôlé (nature, épaisseur, nombre de couches, mode de dépose du revêtement...).
- 2.2 Le requérant devra s'assurer que les certifications délivrées à l'international qui diffèrent de celles prononcées par la COFREND assurent les connaissances pour la mise en œuvre de la technique TOFD par les personnels sont proches de celles retenues par la COFREND.
- 2.3 Le requérant devra retenir la valeur courante de 0,2 mm d'ouverture de défaut pour réaliser les essais ou les étalonnages concernés par les phénomènes de diffraction.
- 2.4 Le requérant devra rechercher les meilleures conditions de rapport signal sur bruit en s'assurant que celui-ci est, à minima, supérieur à 9 dB, sauf justification particulière. Il conviendra de privilégier l'augmentation du nombre de dispositifs sur les emballages de très forte épaisseur pour atteindre cet objectif.
- 2.5 Définir des méthodes complémentaires pour dimensionner les défauts lorsqu'ils sont détectés uniquement par le transducteur à ondes rampantes et par le transducteur à ondes longitudinales à 0°. À défaut de dimensionnement, spécifier une réparation ou un rebut de la pièce contrôlée.