

Fontenay-aux-Roses, le 19 février 2016

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2016-00052

**Objet :** Transport - Rupture fragile

**Réf.**

1. **Lettre ASN CODEP-DTS-2015-013436 du 2 avril 2015**
2. Norme ISO 9712 - Qualification et certification du personnel END
3. Norme ASNT TC1A - Personnel qualification and certification in NDT

Par lettre citée en première 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 compléments transmis par la société TN International (ou requérant) dans le cadre de l'étude du risque de rupture fragile à basse température des composants forgés du nouveau modèle de colis TN G3, qui sont en acier ferritique faiblement allié. Pour rappel, pour les deux nuances d'acier retenues pour ce modèle de colis, dénommées A et B dans le présent avis, le requérant s'appuie dans son étude sur des essais réalisés sur des coupons.

Les compléments transmis par le requérant visent à répondre à des demandes, formulées par l'ASN en 2015, concernant notamment :

- les justifications de l'absence de défauts dus à l'hydrogène dans les composants forgés de forte épaisseur des futurs emballages TN G3 ;
- l'influence des paramètres de fabrication des composants en acier sur les valeurs de ténacité dynamique mesurées à  $-40^{\circ}\text{C}$  et la température de référence de ductilité nulle ( $RT_{NDT}$ ). A cet égard, le requérant devait définir des plages de variation autorisées pour la fabrication des composants forgés, en termes de composition chimique des aciers ainsi que de paramètres associés aux opérations de traitement thermique et de fabrication. Au regard de ces éléments, il devait justifier la représentativité des modalités d'élaboration des composants dans lesquels les éprouvettes utilisées lors des essais précités ont été prélevées.

Les éléments complémentaires présentés par le requérant, en réponse à ces demandes, ont été expertisés par l'IRSN. De cette expertise, il ressort les points importants ci-après.

**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

### Contexte

L'enveloppe de confinement du nouveau modèle de colis TN G3, développé par la société TN International pour le transport d'assemblages combustibles irradiés dans les réacteurs à eau sous pression du parc électronucléaire français, est constituée d'éléments forgés en acier ferritique faiblement allié.

Les deux nuances d'acier retenues par le requérant pour ces éléments ont fait l'objet d'essais effectués sur des coupons afin de déterminer, entre autres, la résilience et la ténacité dynamique de l'acier des composants à -40°C ainsi que leur  $RT_{NDT}$ . Les résultats obtenus sont utilisés par le requérant pour justifier que :

- les facteurs d'intensité de contraintes calculés dans les composants en acier de nuance B, dans les conditions accidentelles de transport, seront inférieurs à la ténacité dynamique minimale de ce matériau à la température minimale considérée (-40°C). Cette démarche permet d'écarter le risque de rupture fragile des composants de l'enveloppe de confinement du colis dans ces conditions,
- le comportement des composants en acier de nuance A reste globalement ductile à -40°C.

### Défauts dus à la présence d'hydrogène (DDH)

La présence de défauts dus à l'hydrogène (dits DDH) dans les aciers utilisés peut modifier significativement leur comportement. A cet égard, le requérant a transmis une analyse complémentaire visant à justifier que les aciers des emballages TN G3 qui seront fabriqués ne seront pas concernés par ce phénomène.

Il considère que la nuance A d'acier n'est pas sensible au phénomène de DDH du fait de sa faible teneur en manganèse, qui forme des sites privilégiés pour la migration de l'hydrogène. Par contre, il indique que la nuance B est sensible au phénomène de DDH de par sa composition chimique. Aussi, il présente uniquement les dispositions qui seront retenues pour limiter ce phénomène dans les composants en acier B.

A cet égard, le requérant ne justifie pas que la composition chimique de l'acier de nuance A (notamment les teneurs en soufre, en carbone et en Nickel) permettent d'écarter la présence de DDH. Aussi, l'IRSN recommande la réalisation de contrôles par ultrasons, tels que décrits ci-après, sur les composants forgés en acier de nuance A, afin de s'assurer de l'absence de DDH.

Pour ce qui concerne les composants en acier de nuance B, le requérant indique que des précautions lors des opérations de fabrication écartent le risque de DDH. Celles-ci incluent notamment :

- des dispositions visant à désulfurer et à désoxyder le métal fondu ;
- des opérations successives de dégazage afin de réduire la concentration en hydrogène. Leur nombre est adapté en fonction des valeurs mesurées. A cet égard, si le taux d'hydrogène mesuré à la coulée est inférieur à 1 ppm, aucune opération n'est réalisée, ce taux étant jugé suffisamment bas pour exclure les DDH. A défaut, un cycle de dégazage, qui inclut des phases de montées en température par paliers est réalisé si le taux est compris entre à 1 ppm et une valeur maximale dépendant du fournisseur.
- un contrôle de l'état des lingotières afin de limiter la reprise d'hydrogène lors de la coulée.

Si sur le principe, ces dispositions contribuent à limiter le phénomène de DDH, le requérant ne détaille pas les opérations effectuées. En particulier, il ne décrit pas, par exemple sous la forme d'un synoptique, les opérations réalisées, les durées des paliers de températures et les précautions retenues notamment lors des opérations de coulée en lingotière ainsi que les critères d'acceptation associés. En outre, la pertinence du critère retenu (taux d'hydrogène égal à 1 ppm) pour écarter les DDH n'est pas démontrée. Enfin, les actions mises en place si ce taux est supérieure aux valeurs maximales fixées (1,5 ou 1,8 ppm selon le fabricant) ne sont pas abordées.

En tout état de cause, le requérant considère que la réalisation d'un contrôle volumique à 100 % par ultrasons, en ondes droites et transverses, de chaque pièce forgée après traitement de détensionnement, permettra de détecter d'éventuels DDH et de prendre les mesures adéquates. **L'IRSN estime que ce contrôle permettra de détecter des DDH, sous réserve qu'il soit réalisé conformément aux exigences de la norme 10228-3, relative aux essais non destructifs pour les pièces forgées en acier ferritique et martensitique.**

**A cet égard, un document autoportant devrait détailler les critères d'acceptation retenus pour la réalisation de ces contrôles, en considérant notamment les critères correspondant aux classes de qualité les plus élevées de la norme.**

Par ailleurs, le requérant indique que ces contrôles seront réalisés par des opérateurs qualifiés, conformément aux prescriptions des normes applicables en France et aux Etats Unis. Toutefois, l'IRSN relève que la norme EN 473 citée par le requérant a été annulée le 18 février 2012. Par conséquent, le requérant devrait uniquement se référer aux normes en vigueur, citées en deuxième et troisième références.

#### **Influence des paramètres de fabrication des composants forgés**

##### *Composants forgés en acier de nuance A*

Les essais réalisés par le requérant montraient que le comportement des coupons testés, ayant subi un traitement de détensionnement identique à celui prévu pour les composants forgés de l'emballage TN G3, était globalement ductile à -40°C. Par ailleurs, le requérant a prévu de réaliser trois essais complémentaires sur des éprouvettes prélevées dans le premier forgé d'emballage TN G3 afin de confirmer les résultats de ces essais.

Concernant ces points, en 2015, l'ASN a demandé au requérant, pour justifier la représentativité des essais réalisés, de :

- préciser les zones de prélèvement des coupons testés et de justifier leur caractère pénalisant compte tenu des procédés de fabrication ;
- confirmer que les essais prévus sur le premier forgé seront réalisés à -40°C ;
- mettre en évidence les paramètres liés à la fabrication des composants (composition chimique de l'acier, paramètres des traitements thermiques et de fabrication ...) qui influencent la valeur de ténacité dynamique du matériau à -40°C.

En réponse, le requérant précise que les coupons utilisés pour les essais réalisés ont été prélevés dans les zones de tête et de fond des viroles forgées de deux exemplaires d'emballages de conception différentes de l'emballage TN G3, mais ayant subi des traitements thermiques similaires. A cet égard, il indique que les paramètres d'élaboration de ces composants satisfaisaient aux exigences de la norme applicable.

Par ailleurs, concernant les essais complémentaires qui seront réalisés sur un exemplaire d'emballage TN G3 « tête de série », la société TN International rappelle que ces derniers incluront :

- des essais de Pellini visant à déterminer la  $RT_{NDT}$  ;
- 3 essais de ténacité dynamique à  $-40^{\circ}\text{C}$ . Les éprouvettes testées seront prélevées dans la zone de plus faible résilience déterminée au préalable.

**L'IRSN estime que la description des essais complémentaires apporte les éléments attendus dans le cadre d'une partie des demandes formulées par l'ASN.**

En revanche, les éléments apportés concernant les zones de prélèvement des coupons testés et l'influence des paramètres de fabrication sur les valeurs de ténacité dynamique des aciers sont sommaires. Ces éléments, qui concernent également les composants en acier de nuance B, sont analysés ci-après dans le présent avis.

#### Composants forgés en acier de nuance B

Les essais réalisés par le requérant ont conduit à une valeur de résilience à  $-40^{\circ}\text{C}$  pour l'acier de nuance B, garantissant la ténacité dynamique minimale retenue dans les démonstrations de sûreté pour justifier l'absence de rupture fragile des composants forgés à  $-40^{\circ}\text{C}$  en conditions accidentelles de transport.

Pour justifier la représentativité de ces essais, le requérant devait lister les paramètres d'élaboration des coupons testés et analyser l'influence des variations admissibles de ces derniers sur les résultats obtenus. **A cet égard, pour l'IRSN, la mise en œuvre d'un procédé de fabrication des composants forgés ne garantissant pas le respect de ces paramètres nécessiterait la réalisation d'un programme complémentaire de caractérisation.**

Les éléments transmis par le requérant sur ce point, similaires à ceux relatifs à l'acier de nuance A, sont sommaires. Ils sont présentés dans le paragraphe ci-après. **Toutefois, les essais complémentaires qui seront réalisés, sur un exemplaire d'emballage TN G3 tête de série, incluront trois essais afin de s'assurer que la ténacité dynamique à  $-40^{\circ}\text{C}$  est supérieure à celle considérée dans les démonstrations de sûreté. Les éprouvettes testées seront prélevées dans des anneaux situés en tête et fond des viroles forgées dans la zone de plus faible résilience déterminée au préalable.**

**L'IRSN estime que ces contrôles complémentaires des viroles des emballages TN G3 sont de nature à renforcer la maîtrise des caractéristiques mécaniques des composants fabriqués.**

### Paramètres de fabrication

Pour rappel, l'ASN a demandé au requérant d'indiquer les paramètres de fabrication des composants en acier affectant leurs propriétés à  $-40^{\circ}\text{C}$  (résilience, ténacité dynamique et  $RT_{NDT}$ ), puis de définir, pour ces paramètres, les plages admissibles en fabrication à partir de connaissances acquises sur au moins 3 coulées. En complément, le requérant devait justifier le conservatisme des essais réalisés en tenant compte des paramètres d'élaboration des coupons testés au regard de ces plages.

En réponse, le requérant indique que les coupons en acier, de nuances A et B, utilisés lors des essais ont été prélevés dans des viroles forgées d'emballages de conception différente du TN G3, mais ayant subi des traitements thermiques similaires à ceux prévus.

Par ailleurs, le requérant considère que l'influence des paramètres de fabrication sur les valeurs de ténacité dynamique, résilience ou  $RT_{NDT}$ , est maîtrisée par la qualification qui sera réalisé des fournisseurs, sur la base de tests effectués pour un emballage « tête de série ». A cet égard, il indique que cette qualification prendra en compte :

- la géométrie et le matériau constitutif du forgé ;
- le critère de  $RT_{NDT}$  (nuance A) ou de résilience (nuance B) considéré dans le dossier de sûreté pour l'acier des composants.

**L'IRSN estime que ces réponses n'apportent pas les éléments techniques attendus dans le cadre des demandes formulées par l'ASN, relatives à l'identification de corrélations entre les conditions réelles de fabrication des pièces testées et les caractéristiques mesurées.** A titre d'illustration, l'IRSN relève que :

- les modalités de forgeage sont indiquées (forgeage à chaud), mais que le procédé mis en œuvre n'est pas détaillé (étirage, écrasement ...) ;
- la durée de la trempe, qui est réalisée après austénitisation, n'est pas spécifiée.

L'influence de ces paramètres sur les propriétés des aciers en termes de ténacité dynamique ou de  $RT_{NDT}$  n'est également pas étudiée. Par ailleurs, le requérant ne présente pas le domaine de validité de la qualification d'un fournisseur, qui est usuellement décrit dans un document dédié, dit « programme technique de fabrication », tel que défini, par exemple, dans le code de construction RCCM. Ce document spécifie notamment :

- le mode d'élaboration de l'acier ;
- la masse et le type de lingot utilisé ainsi que la position de la pièce dans le lingot ;
- les pourcentages de chute en tête et en pied ;
- les plans des pièces brutes de forge et des profils pour les traitements thermiques ;
- la position sur la pièce des échantillons pour essais de recette ;
- le plan de prélèvement des éprouvettes dans ces échantillons ;

**A cet égard, l'RSN estime que le requérant devrait spécifier les dispositions prises, à l'issue de la qualification d'un fournisseur, pour, d'une part prendre en compte les évolutions autres que la géométrie et le matériau constitutif du forgé, d'autre part évaluer leur influence sur la qualité de la pièce au regard des critères de recette usuels et additionnels (résilience,  $RT_{NDT}$ ).**

**Conclusion**

L'IRSN considère que les compléments présentés par la société TN International n'apportent pas les éléments techniques attendus dans le cadre des demandes formulées par l'ASN.

A cet égard, l'IRSN estime que le requérant doit, quel que soit la nuance d'acier, réaliser des contrôles des défauts dus à l'hydrogène dans l'acier des composants forgées et étendre les paramètres associés à la qualification d'un fournisseur. Ces points font l'objet des recommandations formulées en annexe 1 du présent avis.

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

Annexe 1 à l'avis IRSN n° 2016-00052 du 19 février 2016

Recommandations de l'IRSN

**1 Défauts dus à l'hydrogène (DDH)**

1.1 Quelle que soit la nuance d'acier, réaliser les contrôles volumiques à 100 % de chaque pièce forgé par ultrasons, après traitement de détensionnement, conformément aux exigences de la norme 10228-3. A cet égard, détailler, dans un document autoportant, les critères retenus pour la réalisation de ces contrôles, en considérant notamment les critères correspondant aux classes de qualité les plus élevées de la norme.

**2 Influence des paramètres de fabrication des composants forgés**

2.1 Spécifier les dispositions prises, dans le cadre du processus de qualification d'un fournisseur sur une pièce « tête de série », pour, d'une part prendre en compte les évolutions dans la fabrication autres que la géométrie et le matériau constitutif du forgé, d'autre part évaluer leur influence sur la qualité de la pièce au regard des critères de recette usuels et additionnels (résilience,  $RT_{NDT}$ ).