

Fontenay-aux-Roses, le 6 décembre 2019

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n°2019-00275

Objet : Transport - Programme d'essais de chute du modèle de colis TN EAGLE®

Réf. 1. Lettre saisine ASN CODEP-DTS-2019-030090 du 8 juillet 2019.  
2. Règlement de transport de l'AIEA - SSR-6 édition de 2018.

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 le programme d'essais présenté par la société TN International du groupe ORANO (ORANO TN) pour un nouveau concept d'emballage, dénommé TN EAGLE® destiné à des assemblages combustibles usés. Outre des opérations de transport, ce modèle de colis sera utilisé pour l'entreposage à sec de combustibles usés.

La société ORANO TN vise un agrément pour des transports par voies routière, ferroviaire ou maritime, de type B(U) pour matière fissile, se fondant sur la réglementation citée en seconde référence.

Pour mémoire, le dossier d'options de sûreté de ce modèle de colis a fait l'objet d'un avis de l'IRSN en 2019 qui concluait que les options de sûreté retenues sont globalement satisfaisantes mais que des éléments complémentaires concernant la démarche de validation des approches numériques et les critères retenus pour justifier le maintien de l'étanchéité des joints métalliques doivent être apportés.

Le dossier d'options de sûreté indiquait en particulier la réalisation d'un essai de chute sur une maquette représentative du colis, destiné à conforter la validation des modèles numériques qui seront utilisés dans le dossier de sûreté.

De l'expertise du programme d'essais de chute, l'IRSN retient les points importants suivants.

## 1 PRESENTATION DU COLIS

L'emballage TN EAGLE® est de forme générale cylindrique. Son corps est constitué d'une virole de forte épaisseur et d'un fond en acier au carbone. Des éléments renforçant la protection radiologique sont fixés autour de la virole. La cavité de l'emballage est fermée par deux couvercles indépendants munis de joints d'étanchéité. Le joint d'étanchéité du couvercle

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

primaire est métallique. Les autres joints (joint d'étanchéité du couvercle secondaire et joints de contrôle des deux couvercles) peuvent être métalliques ou en élastomères. La face interne du couvercle primaire est équipée d'un système amortisseur. Chaque extrémité du corps de l'emballage est équipée d'un capot amortisseur de chocs, composé de blocs de bois placés dans une enveloppe métallique. L'emballage TN EAGLE® n'est pas équipé de tourillons.

Le modèle de colis TN EAGLE® est modulaire. En effet, la longueur et le diamètre de la virole, l'épaisseur du fond, les dimensions du capot ainsi que l'épaisseur de protection radiologique peuvent être adaptés à différents types de combustible.

L'emballage TN EAGLE® est conçu pour transporter et entreposer des assemblages combustibles usés provenant de réacteurs à eau pressurisée (REP) ou de réacteurs à eau bouillante (REB). La cavité de l'emballage est équipée d'un panier dans lequel sont placés les assemblages combustibles.

## 2 PRESENTATION DU PROGRAMME D'ESSAIS

Le programme d'essais de chutes transmis par la société ORANO TN contient les éléments suivants :

- une note relative au programme d'essais qui a pour objectif de :
  - présenter la méthode générale qui permettra de démontrer la tenue mécanique du colis à la suite des chutes réglementaires,
  - déterminer la chute retenue sur la maquette à l'échelle 1/3 de l'emballage TN EAGLE®,
  - déterminer les configurations de chutes pénalisantes qui seront étudiées dans le dossier de sûreté ;
- une note justifiant la représentativité de la maquette de l'emballage EAGLE® échelle 1/3 par rapport au modèle de colis TN EAGLE® échelle 1,
- une note de présentation des moyens qui seront mis en œuvre lors de l'essai de chute avec maquette,
- des notes de calcul numériques préliminaires relatifs aux chutes de 9 m sur cible indéformable pénalisantes qui seront étudiées dans le dossier de sûreté. Ces calculs visent à démontrer le bon comportement de l'emballage à l'issue des chutes. La société ORANO TN indique que ces notes de calcul seront mises à jour lors de la transmission du dossier de sûreté. Ces notes présentent :
  - le modèle numérique utilisé et les hypothèses considérées,
  - les résultats des calculs préliminaires. Ces résultats seront analysés lors de l'expertise du dossier de sûreté.

Ainsi, ce programme présente l'essai de chute, ainsi que les éléments de validation des approches numériques et les configurations devant faire l'objet d'études numériques dans le dossier de sûreté.

## 3 METHODE DE DEMONSTRATION

La société ORANO TN étudie toutes les orientations de chute envisageables. Pour chaque orientation, elle vérifie si elle dispose des résultats d'expérience qui permettent, soit de valider le modèle numérique de l'emballage TN EAGLE®, soit d'effectuer des analyses analytiques par similitude avec des concepts d'emballage existants. Dans le programme d'essais, des résultats préliminaires sont présentés pour certaines configurations de chute. La société ORANO TN a sélectionné les configurations de chute qui seront étudiées dans le dossier de sûreté du modèle de colis et une configuration de chute qui sera testée sur maquette afin de confirmer les simulations numériques. Un calcul numérique de cette configuration de chute, transmis en préalable à sa réalisation, confirmera la prédictibilité des

modèles numériques de l'emballage. La comparaison entre le calcul et l'essai sera transmise dans le cadre de la demande d'agrément du colis. Pour cet essai, la société ORANO TN retient une configuration de chute du colis en position quasi-horizontale (cf. paragraphe 4.1 de l'avis).

Concernant les chutes de 1 m sur poinçon, compte tenu des difficultés pour modéliser l'impact d'un poinçon sur l'emballage, la société ORANO TN réalise des comparaisons par rapport à des essais similaires réalisés sur d'autres modèles de colis. Lorsqu'elle ne dispose pas de tels essais, des hypothèses pénalisantes sont considérées afin d'évaluer les dommages sur les capots et la protection thermique et radiologique de l'emballage.

Cette démarche est cohérente avec les éléments présentés dans le dossier d'options de sûreté du modèle de colis TN EAGLE®, s'agissant en particulier de la réalisation d'une campagne d'essai ciblée. L'analyse du comportement des systèmes d'étanchéité reste fondée sur des analyses de similitudes par rapport à des concepts existants et des calculs numériques. **Comme indiqué dans son avis sur les options de sûreté, l'IRSN estime cette démarche acceptable sur le principe. Cependant, pour les simulations numériques, elle nécessite l'établissement de critères d'acceptation et de justifications d'une précision suffisante des calculs pour garantir le respect de ces critères. La définition de ces critères est abordée dans le paragraphe 5.2 du présent avis.**

## 4 DETERMINATION DES CONFIGURATIONS DE CHUTE

### 4.1 Chutes de 9 m sur cible indéformable

Au regard des éléments transmis dans le programme d'essais, l'IRSN considère que les configurations de chute de 9 m sur cible indéformable retenues pour être étudiées dans le dossier de sûreté sont satisfaisantes. La société ORANO TN a réalisé, pour ces configurations, des calculs préliminaires qui sont présentés au paragraphe 5 de l'avis.

Par ailleurs, elle a choisi de réaliser expérimentalement une chute d'une hauteur de 9,3 m en position quasi-horizontale, avec un angle de chute formé par l'axe de l'emballage et l'horizontale de  $-10^\circ$  dont le premier impact se situe côté fond de l'emballage. Cette chute a pour objectif de confirmer la prédictibilité du modèle numérique. Aussi, il n'est pas nécessaire que la chute du colis maximise les dommages du colis. En revanche, cet essai doit permettre l'exploitation de sollicitations mesurables d'éléments importants pour la sûreté du colis afin de se prononcer sur la robustesse du modèle numérique. **La configuration de chute choisie permettant de solliciter de manière significative le système de fermeture du colis (en particulier les vis de fixation des couvercles primaires et secondaires), l'IRSN estime que la réalisation de cet essai est satisfaisante.**

### 4.2 Chutes de 1 m sur poinçon

Les configurations de chute sur poinçon retenues pour être étudiées dans le dossier de sûreté considèrent les dommages sur les éléments importants pour la sûreté du colis (système de fermeture, protection radiologique, virole) et les éventuelles conséquences associées (augmentation de la température des joints de confinement, réduction de la protection radiologique, rupture brutale). **Ceci est satisfaisant.**

Plus particulièrement, les configurations de chute sur poinçon considérées préalablement à l'épreuve de feu sont :

- deux configurations de chute prenant en compte une perforation de longueur pénalisante du bois à la suite de l'impact du poinçon sur le capot de tête, mais pas de combustion du bois ;
- une configuration de chute prenant en compte l'impact d'un poinçon sur la protection radiologique et ayant pour objectif d'exposer les joints de confinement au feu.

Pour rappel, l'IRSN a recommandé dans son avis sur les options de sûreté de l'emballage, de tenir compte, dans toutes les configurations, du risque de poursuite de la combustion du bois des capots après le feu réglementaire. À cet égard, dans le programme, la société ORANO TN intègre ce phénomène pour une des configurations. Il sera pris en compte en augmentant de manière forfaitaire de 50 °C (valeur issue de la littérature) les températures des joints des couvercles. **L'IRSN estime que la société ORANO TN devrait justifier que l'augmentation forfaitaire considérée pour tenir compte du phénomène de combustion du bois des capots peut s'appliquer au capot du TN EAGLE®.**

Par ailleurs, la non prise en compte de ce phénomène pour les configurations de chute qui considèrent la perforation du bois à la suite de l'impact du poinçon sur le capot devrait également être justifiée. Ceci fait l'objet de l'observation 1.1 présentée en annexe 2 de l'avis.

Concernant les configurations qui prennent en compte la perforation du bois, la société ORANO TN retient une empreinte de forme cylindrique dont le diamètre est égal à 150 mm, soit le diamètre réglementaire du poinçon. **L'IRSN estime que la société ORANO TN devrait prendre en compte une géométrie d'empreinte de poinçon intégrant le basculement du colis à l'issue de la pénétration du poinçon.** Ceci fait l'objet de l'observation 1.2 présentée en annexe 2 de l'avis.

## **5 CALCULS NUMERIQUES PRELIMINAIRES**

### **5.1 Modèle numérique**

À ce stade du dossier, l'IRSN considère que le modèle numérique utilisé dans les calculs préliminaires est satisfaisant.

L'examen des calculs préliminaires présentés pour certaines configurations de chute montre que la société ORANO TN considère de façon pénalisante la masse maximale du colis. Pour les autres paramètres pouvant être modulés, elle considère que seuls la longueur et le diamètre de la cavité de l'emballage ont un impact sur le comportement mécanique de l'emballage. D'autres paramètres géométriques, comme la longueur totale du capot, peuvent être ajustés pour rester dans le domaine de validité de l'écrasement des blocs de bois relevé sur un concept d'emballage existant. **À ce stade de l'expertise, ceci est acceptable.**

Les capots amortisseurs de l'emballage TN EAGLE® sont constitués d'une partie supérieure constituée de blocs de bois de faible densité et d'une partie inférieure constituée principalement de blocs de bois de forte densité. Dans la modélisation de la chute axiale à -40 °C ayant pour objectif de maximiser les sollicitations dans le système de fermeture, la société ORANO TN indique que le cas pénalisant concerne un emballage dont le diamètre de cavité est maximal en considérant que seule la partie supérieure du capot de tête se déforme. Or, la partie supérieure pourrait ne pas permettre d'amortir toute l'énergie de chute si elle n'est pas d'un volume suffisant (en cas de diamètre réduit) ou si la contrainte d'écrasement des blocs de bois est trop faible (à chaud en particulier). Aussi, en configuration de chute axiale en température le cas pénalisant pourrait concerner un emballage dont le diamètre de cavité est minimal. **À cet égard, l'IRSN estime que la société ORANO TN devrait vérifier que seule la partie supérieure du capot est sollicitée pour une chute du colis de diamètre de cavité minimal et pour la température maximale de la plage réglementaire.** Ceci fait l'objet de l'observation 2.1 présentée en annexe 2 de l'avis.

## 5.2 Critères retenus pour l'interprétation des résultats de calcul

### 5.2.1 Critères spécifiques aux composants impactés

Dans son avis sur le dossier d'options de sûreté, l'IRSN a recommandé de définir les critères retenus pour l'interprétation des résultats de calcul. Dans le programme d'essais, la société ORANO TN a transmis des éléments complémentaires sur ce point.

En chute axiale et oblique, elle indique que le taux d'écrasement de chaque bloc de bois du capot doit être inférieur au taux d'écrasement de ce bloc dans le modèle numérique d'un modèle de colis similaire ayant fait l'objet d'une chute sur maquette. La société ORANO TN n'a pas ouvert ce capot à l'issue de la chute et ne pourra donc utiliser que la mesure de la déformation visible des blocs. Aussi, le critère choisi ne permettra pas une validation directe des contraintes dans les vis des couvercles. Ce sujet fera l'objet d'une attention particulière dans le cadre de l'expertise du dossier de sûreté.

S'agissant des liaisons vissées, l'analyse préliminaire ne prend pas en compte l'effort de réaction des joints métalliques sur les vis de fixation du couvercle. Or, lorsque les joints métalliques sont comprimés dans leur gorge, ils exercent un effort de réaction sur les couvercles égal à l'effort linéique de compression du joint qui est en grande partie transmis aux vis de fixation du couvercle. **Aussi, l'IRSN estime que la société ORANO TN devrait prendre en compte l'effort de réaction des joints métalliques dans l'analyse de la tenue mécanique des vis du système de confinement. Ceci fait l'objet de l'observation 2.2 présentée en annexe 2 de l'avis.**

### 5.2.2 Joints métalliques

Le critère de décollement du plan de joint défini pour garantir l'étanchéité du colis correspond à la restitution élastique du joint. Or, cette restitution élastique peut diminuer avec le vieillissement du joint, notamment dû à la température. **En conséquence, l'IRSN recommande que l'exploitant adapte le critère de décollement du plan de joint défini pour garantir l'étanchéité du colis afin de prendre en compte le vieillissement des joints métalliques et démontre que le code de calcul et le modèle numérique utilisés sont adaptés pour évaluer le respect de ce critère. Ceci fait l'objet de la recommandation présentée en annexe 1 de l'avis.**

Concernant les sollicitations radiales, la société ORANO TN ne s'appuie pas sur un critère d'étanchéité mais sur une analyse de similitude partielle avec l'étude du comportement en chute d'un autre modèle de colis équipé de joints métalliques. Or cette analyse de similitude s'appuie uniquement sur les caractéristiques du système de fermeture des deux emballages, alors que le comportement du joint sous sollicitation radiale peut dépendre de nombreux paramètres tels que l'état de surface du joint, de la gorge et de la portée de joint, de l'effort linéique de compression du joint, des caractéristiques des différents composants du joints (ressort, couche interne et externe), etc. Par conséquent, l'IRSN considère que la représentativité de cette maquette de chute n'est pas suffisamment démontrée.

Au cours de l'expertise, la société ORANO TN s'est engagée auprès de l'ASN à réaliser des essais visant à vérifier expérimentalement l'étanchéité de joints métalliques lorsqu'ils sont soumis à des phénomènes de glissement et à transmettre les résultats dans le cadre de la demande d'agrément. **L'IRSN estime que les résultats de ces essais pourraient permettre de répondre à sa recommandation formulée sur les options de sûreté de l'emballage relative à la justification du maintien de l'étanchéité des joints métalliques. Dans l'attente des résultats des essais annoncés et en l'absence de critère d'étanchéité relatif au glissement des joints de confinement, cette recommandation reste d'actualité.**

## 6 MAQUETTE D'ESSAI ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'essai sera réalisé en utilisant une maquette à l'échelle 1/3 composée d'un corps forgé équipé de sa protection radiologique (représentatif du concept du colis en terme de masse uniquement), de couvercles primaire et secondaire équipés de leur vis de fixation, d'un capot amortisseur en tête et en fond et d'un lest simulant le contenu de l'emballage. La maquette n'est munie ni d'amortisseur interne ni de joints d'étanchéité. La société ORANO TN présente les spécifications de la maquette échelle 1/3 du TN EAGLE® et justifie sa représentativité dans l'objectif de valider la modélisation numérique de l'emballage TN EAGLE®. Elle indique que l'essai de chute sera réalisé sur un site d'expérimentation d'ORANO TN qui dispose d'une cible dont les caractéristiques sont compatibles avec l'essai prévu.

Ces éléments n'appellent pas de remarque.

## 7 CONCLUSION

En conclusion, sur la base du programme d'essai présenté et en tenant compte des informations complémentaires transmises au cours de l'expertise, l'IRSN considère que le programme de chutes présenté par la société ORANO TN pour le nouveau modèle de colis TN EAGLE®, complété par les essais de glissement sur les joints qu'elle s'est engagé à effectuer, est globalement satisfaisant.

Dans l'attente des résultats de ces essais et en l'absence de critère d'étanchéité des joints en cas de glissement, la recommandation de l'avis IRSN sur les options de sûreté de l'emballage, relative à la présentation d'un programme visant à justifier les critères retenus pour démontrer le maintien de l'étanchéité des joints métalliques, reste d'actualité.

En outre, le critère de décollement du plan de joint défini pour démontrer l'étanchéité du colis dans toutes les conditions de transport devra prendre en compte le vieillissement des joints métalliques. À cet égard, la société ORANO TN devra tenir compte dans la suite de son projet de la recommandation formulée en annexe 1 au présent avis.

Par ailleurs, le dossier de sûreté qui sera transmis en appui de la demande d'agrément devrait tenir compte des observations présentées en annexe 2 au présent avis.

Pour le directeur général, par délégation

Anne-Cécile JOUVE

Adjointe au Directeur de l'expertise de sûreté

**Annexe 1 à l'Avis IRSN n° 2019-00275 du 6 décembre 2019**  
**Recommandation**

L'IRSN recommande que la société ORANO TN adapte le critère de décollement du plan de joint défini pour garantir l'étanchéité du colis afin de prendre en compte le vieillissement des joints métalliques et démontre que le code de calcul et le modèle numérique utilisés sont adaptés pour évaluer le respect de ce critère.

Annexe 2 à l'Avis IRSN n° 2019-00275 du 6 décembre 2019

Observations

1 Comportement thermique

- 1.1 L'IRSN estime que la société ORANO TN devrait justifier que l'augmentation forfaitaire de température considérée pour tenir compte du phénomène de combustion du bois des capots peut s'appliquer au capot du TN EAGLE®. La non prise en compte de ce phénomène pour les configurations de chute qui considèrent la perforation du bois à la suite de l'impact du poinçon sur le capot devrait également être justifiée.
- 1.2 L'IRSN estime que la société ORANO TN devrait prendre en compte une géométrie d'empreinte de poinçon intégrant le basculement du colis à l'issue de la pénétration du poinçon dans le capot amortisseur.

2 Comportement mécanique

- 2.1 L'IRSN estime que la société ORANO TN devrait vérifier, pour la configuration de chute axiale, que seule la partie supérieure du capot est sollicitée pour une chute du colis de diamètre de cavité minimal et pour la température maximale de la plage réglementaire.
- 2.2 L'IRSN estime que la société ORANO TN devrait prendre en compte l'effort de réaction des joints métalliques dans l'analyse de la tenue mécanique des vis de confinement.