

Fontenay-aux-Roses, le 30 mars 2018

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2018-00084

Objet : Transport - Modèle de colis TN G3 - Mise à jour du dossier de sûreté

Réf. 1. Lettre ASN CODEP-DTS-2018-004204 du 23 janvier 2018.  
2. Règlement de transport de l'AIEA SSR-6, édition 2012.

Par la 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 la mise à jour du dossier de sûreté du modèle de colis TN G3, transmise par la société ORANO TN, dénommée ci-après le requérant, ainsi que sur les réponses aux demandes formulées par l'ASN en décembre 2017 dans le cadre de l'instruction de la demande d'agrément de ce colis.

## 1 INTRODUCTION

En novembre 2015, le requérant a adressé à l'ASN une demande d'agrément du nouveau modèle de colis TN G3, de type B multilatéral pour matière fissile. Elle concerne le transport par voies routière, ferroviaire, maritime ou fluviale, d'au plus douze assemblages combustibles à base d'oxyde d'uranium, irradiés dans les réacteurs à eau sous pression du parc électronucléaire français.

L'IRSN a expertisé les justifications de sûreté transmises en support de cette demande au regard des exigences de l'édition 2012 de la réglementation de l'AIEA citée en seconde référence. Les conclusions de cette expertise ont été présentées, le 6 juillet 2017, au groupe permanent d'experts chargés des transports (GPT). Dans ce cadre, le requérant s'est engagé à transmettre des compléments de justifications. Sur cette base, en décembre 2017, l'ASN lui a formulé des demandes de compléments conditionnant la poursuite de l'instruction de la demande d'agrément, reprenant notamment les principaux engagements du requérant.

En conséquence, le requérant a mis à jour le dossier de sûreté du modèle de colis TN G3 et transmis des études complémentaires (cf. § 3 de l'avis). De plus, cette révision du dossier de sûreté intègre des modifications apportées au modèle de colis, prenant en compte le retour d'expérience acquis lors des opérations de fabrication des premiers exemplaires d'emballages (cf. § 2 de l'avis).

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

Le modèle de colis TN G3 est constitué d'un emballage accueillant dans sa cavité un panier présentant douze logements dans lesquels sont placés les assemblages combustibles. Le corps de l'emballage, de forme cylindrique, est principalement constitué, de l'intérieur vers l'extérieur, d'une virole et d'un fond en acier au carbone, de fortes épaisseurs, de conducteurs thermiques en cuivre délimitant des espaces remplis d'une protection radiologique et d'ailettes de refroidissement. Il est équipé de capots amortisseurs de chocs constitués par une structure en acier remplis de blocs de mousse de carbone à chacune de ses extrémités. La cavité de l'emballage est fermée par deux systèmes indépendants : un bouchon, équipé de joints d'étanchéité en élastomère et maintenu par une bride de serrage, et un couvercle secondaire également muni de joints d'étanchéité. Le bouchon, le couvercle secondaire et le corps de l'emballage sont équipés d'orifices permettant d'accéder à la cavité (opérations de vidange, de contrôle...). Ces orifices sont fermés par des composants équipés de joints d'étanchéité en élastomère.

## 2 MODIFICATIONS APPORTEES AU MODELE DE COLIS

Les évolutions du concept d'emballage introduites dans la révision du dossier de sûreté concernent principalement :

- l'ajout d'un dispositif optionnel de calage en bois du bloc de mousse de carbone positionné entre la tôle anti-poinçonnement et la tôle inférieure des capots amortisseurs. Le requérant estime que le comportement du colis lors des épreuves réglementaires simulant les conditions normales et accidentelles de transport n'est pas modifié par cet ajout, compte tenu des hypothèses retenues dans les démonstrations de sûreté. Ceci n'appelle pas de remarque ;
- la diminution de 1 % de l'allongement à la rupture de la soudure de liaison entre la virole et le fond. Cette modification n'a pas de conséquence du fait de l'absence de déformation plastique dans cette zone à l'issue des chutes simulant les conditions normales et accidentelles de transport ;
- l'ajout d'une configuration d'agencement des composants de l'amortisseur interne du bouchon (constitué d'un réseau de tubes ainsi que de plaques inférieure et supérieure). Le requérant justifie que cet agencement ne modifie pas les capacités d'amortissement du dispositif, ce qui est satisfaisant ;
- la diminution, de l'ordre de 6 %, de la longueur engagée des vis de fixation des conducteurs thermiques en cuivre présents dans le corps de l'emballage. Celle-ci reste néanmoins conforme aux spécifications des standards applicables au dimensionnement des liaisons vissées. Par ailleurs, la surface de ces vis est désormais revêtue afin de limiter les risques de corrosion. Le requérant a donc révisé l'étude de ces liaisons vissées et transmis un rapport d'essais justifiant que le revêtement des vis n'augmente pas le coefficient de frottement minimal. Pour rappel un défaut de la liaison entre ces diffuseurs et la virole peut altérer la capacité de l'emballage à dissiper la puissance thermique du contenu. À cet égard, les nouvelles spécifications de serrage conduisent à une contrainte équivalente dans les vis dépassant le critère usuellement défini dans les standards (90 % de la limite d'élasticité). Le requérant a proposé au cours de l'instruction de définir une valeur maximale du couple de serrage de ces vis tel que la contrainte équivalente maximale dans celles-ci ne dépasse pas ce critère, ce qui est satisfaisant. Il conviendra que le dossier de sûreté soit mis à jour sur ce point. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 2.1 présentée en annexe de l'avis.**

Le requérant a également modifié les dimensions des gorges et joints d'étanchéité des composants de fermeture des orifices de l'emballage. Les dimensions retenues à présent sont similaires à celles des composants du modèle de colis TN 13/2. En effet, le taux de compression minimal des joints d'étanchéité de ces derniers est proche de 15 %, valeur usuellement retenue pour garantir leur étanchéité, en tenant compte des déformations rémanentes des joints et des variations de températures. **L'IRSN estime cette modification satisfaisante.**

## 3 PRISE EN COMPTE DES DEMANDES FORMULEES PAR L'ASN

### 3.1 Description du modèle de colis

La société ORANO TN s'est engagée à compléter la description des cales introduites dans les logements du panier afin de justifier l'absence de zones de rétentions d'eau, difficilement évacuables lors des opérations de séchage de la cavité. En effet, les assemblages combustibles étant chargés dans l'emballage sous eau, la présence d'eau résiduelle peut induire un risque de création d'une atmosphère inflammable par radiolyse. Le requérant a complété la partie description du dossier de sûreté en indiquant que les cales d'appui des assemblages combustibles sont composées « *d'éléments pleins* » excluant toute zone de rétention d'eau.

Les cales sont constituées de tubes soudés à des tôles. L'engagement du requérant visait à garantir que les tubes soient obturés à leurs extrémités. Sur ce point, l'IRSN considère que la mention du dossier de sûreté, indiquant que les cales sont composées d'« éléments pleins », peut porter à confusion. En effet, la présence d'éléments pleins entre les tubes pourrait perturber l'évacuation de l'eau. De ce fait, l'IRSN estime qu'il devrait être indiqué que chaque cale est constituée de tubes fermés, les tôles de liaison entre ces tubes étant espacées afin de permettre l'écoulement de l'eau. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 1 présentée en annexe de l'avis.**

Par ailleurs, le requérant s'est engagé à compléter la description des blocs de mousse de carbone des capots amortisseurs, en cohérence avec les caractéristiques des échantillons utilisés lors des essais de qualification de ce matériau. **L'IRSN estime les compléments apportés par le requérant dans le dossier de sûreté satisfaisants.**

Les capots amortisseurs sont équipés de dispositifs limitant l'augmentation de la pression dans leur structure lors d'un incendie (due aux gaz de combustion). Dans le concept initial de ces capots, des pastilles de respiration étaient utilisées. Toutefois, celles-ci n'étant pas étanches, des variations du taux d'humidité de la mousse de carbone au cours du temps ne pouvaient pas être exclues, ce qui pourrait modifier son comportement. Conformément à son engagement, le requérant a remplacé ces pastilles par des soupapes de dégazage et a introduit un contrôle de l'étanchéité des capots dans les instructions d'entretien périodique du colis. **Ceci est satisfaisant.**

Néanmoins, en considérant un scénario de baisse de la pression ambiante lors d'un transport, entraînant l'ouverture des soupapes (par exemple passage en altitude), puis de retour à la pression atmosphérique, le volume interne des capots pourrait se trouver en dépression. Ceci engendrerait des contraintes mécaniques dans les tôles de ces derniers. Le requérant a évalué au cours de l'instruction ces contraintes. Il ressort qu'elles peuvent être supérieures à la limite d'élasticité de l'acier de la structure des capots. Toutefois, le requérant estime que les jeux axiaux entre les blocs de mousses et cette structure, de l'ordre de quelques millimètres, limiteront la flèche des structures, garantissant l'absence de plastification de ces dernières.

L'analyse du requérant n'appelle pas de remarque de l'IRSN. Il conviendra formellement de spécifier les jeux axiaux entre les tôles du capot et les blocs de mousse et de confirmer que les études du comportement mécanique du colis en chutes couvrent un contact entre les blocs de mousse et l'enveloppe métallique du capot. **Ce point fait l'objet de l'observation n° 2.2 présentée en annexe de l'avis.**

Le requérant a justifié que la composition chimique de la mousse de carbone ne conduisait pas à un risque de corrosion des enveloppes métalliques du capot, ce qui est satisfaisant.

Concernant la caractérisation de la mousse de carbone, le requérant s'est engagé à réaliser un suivi particulier d'un emballage TN G3 de référence afin de confirmer le bon comportement des blocs de mousse des capots au cours du temps. En effet, pour l'IRSN, la représentativité des sollicitations retenues lors des essais de vieillissement sous

vibrations des blocs de mousse, par rapport à celles que subiront les emballages pendant toute leur durée d'exploitation (40 ans), n'est pas acquis.

Le requérant indique que pour un emballage dit de référence, des ouvertures supplémentaires dans la structure des capots seront aménagées. Ces ouvertures, dont le nombre et la position ne sont pas encore définis, seront obturées par des bouchons étanches. Lors des opérations de maintenance, elles permettront une aspiration de l'atmosphère des capots, visant à quantifier les éventuels résidus de poudre issus d'une dégradation de la mousse.

L'IRSN convient que ce contrôle apportera des informations sur la dégradation éventuelle des blocs de mousse, qui resteront cependant globales. En l'état actuel, il n'est cependant pas possible d'évaluer sa pertinence. En particulier, la possibilité de détecter et de quantifier, dans tout le volume des capots amortisseurs, des zones de mousse endommagées n'est pas acquise. Cela pourrait notamment nécessiter de pratiquer des évidements dans les blocs de mousse. Nonobstant, les aménagements pouvant être réalisés sont limités par le fait que le comportement en chute des capots de l'emballage de « référence » ne doit pas être modifié. En tout état de cause, l'IRSN n'exclue pas que, à terme, des contrôles destructifs sur un capot utilisé soient nécessaires pour statuer sur l'absence d'évolutions des géométries et des propriétés mécaniques des blocs de mousse de carbone. Les contrôles réalisés par le requérant en service, qui devront être les plus complets possibles, apporteront des informations utiles à la définition éventuelle des contrôles destructifs.

Conformément à ses engagements, le requérant a :

- justifié les contrôles réalisés lors des approvisionnements des éléments de l'amortisseur interne, destiné à limiter les sollicitations des composants de fermeture de la cavité en cas d'impact du chargement,
- spécifié dans le dossier de sûreté le critère de valeur d'allongement à la rupture des vis de fixation des capots amortisseurs à basse température,
- mis à jour la description de l'emballage pour assurer la cohérence des hypothèses retenues dans l'étude du comportement mécanique du colis en chutes et transmis la procédure de contrôle par ultrasons des composants de fermeture de la cavité du colis.

Ces éléments n'appellent pas de commentaires de l'IRSN.

## 4 COMPORTEMENT MECANIQUE DU COLIS

L'étude du comportement mécanique du modèle de colis lors des épreuves de chute simulant les conditions normales et accidentelles de transport repose sur des essais et des calculs numériques. Ces derniers concluent à des niveaux de déformations plastiques dépassant la valeur d'allongement à la rupture de certains composants de la cavité, ce qui n'a pas de sens physique. Aussi, le requérant s'est engagé à analyser plus en détails ce point.

En réponse, il a transmis une analyse visant à démontrer que les déformations plastiques calculées dans la virole et le couvercle de fermeture de la cavité, dans les configurations de chutes libres de 9 m du colis en positions inclinées, sont cohérentes avec les mesures relevées à l'issue des essais de chute. Il a notamment comparé les déformations plastiques calculées à celles mesurées sur le couvercle en deux points. Il ressort de cette analyse une bonne concordance entre les résultats et les mesures. Par ailleurs, le requérant a évalué les énergies absorbées par les composants dont les déformations plastiques calculées dépassent leur valeur d'allongement à la rupture. Il considère que ces valeurs ne sont pas significatives par rapport à l'énergie totale de chute. **Ces points n'appellent pas de remarque de fond de l'IRSN.**

Le requérant a réalisé une étude expérimentale du comportement mécanique du système de fixation des capots amortisseurs. Il a notamment réalisé des essais sur des éprouvettes représentatives du matériau des vis, en simulant des sollicitations statiques et dynamiques. Ces essais ont été effectués sur différentes machines de tests et en considérant des vitesses de déformation variables. Aussi, en première analyse, des disparités sont apparues dans les résultats obtenus. Le requérant a complété son analyse par une étude statistique de ces résultats. Il ressort que l'ensemble des mesures est inclus dans les intervalles de confiance définis en tenant compte de la dispersion des propriétés mécaniques des vis testées et des incertitudes des machines d'essais. **Ceci n'appelle pas de remarque de l'IRSN.**

Concernant l'étude de l'amortisseur interne de la cavité, le requérant s'est engagé à la compléter pour justifier de marges de sécurité. En effet, dans l'étude réalisée, le critère d'écrasement maximal de l'amortisseur interne était atteint dans certaines configurations de chute du colis, ce qui pourrait conduire à des sollicitations supplémentaires des éléments de fermeture de la cavité du colis. Aussi, le requérant a réalisé une étude évaluant la sensibilité du comportement du bouchon de fermeture de la cavité au talonnement des tubes de l'amortisseur interne. Il ressort qu'un faible talonnement de l'amortisseur interne n'engendre pas de décollement des composants de fermeture de la cavité susceptible de mettre en cause leur étanchéité. **Cette étude est satisfaisante.**

## 5 COMPORTEMENT THERMIQUE DU COLIS

L'étude du comportement thermique du modèle de colis dans les différentes conditions de transport repose sur des calculs numériques.

Le requérant s'est engagé à compléter cette étude en considérant une quantité de matière radioactive dispersée en dehors des gaines des crayons combustibles égale à 12 % en conditions accidentelles de transport (au lieu de 1 %). Les calculs complémentaires effectués considèrent la matière radioactive dispersée répartie de manière homogène sur toute la surface interne du bouchon. Les résultats obtenus montrent des augmentations de la température des joints d'étanchéité des composants de fermeture de la cavité du colis pouvant atteindre 30 °C. Le requérant justifie que les températures obtenues ne mettent pas en cause les fonctions de sûreté du colis. De plus, il a démontré au cours de l'instruction que cette conclusion reste acquise même en considérant une concentration de la matière dispersée au droit du joint d'étanchéité du bouchon de fermeture de la cavité du colis.

**Ces analyses n'appellent pas de remarque de l'IRSN.** Le requérant devrait les inclure dans la prochaine révision du dossier de sûreté. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 3 présentée en annexe de l'avis.**

Par ailleurs, le requérant a spécifié dans le dossier de sûreté qu'un essai sera réalisé à l'issue de la fabrication d'au moins un exemplaire d'emballage, afin de contrôler les capacités de dissipation thermique. **Ceci est satisfaisant.** Cet essai sera effectué dans un environnement libre avec une puissance linéique, en partie courante, correspondant aux 2/3 de celle des assemblages combustibles dans la zone de pic de puissance (110 %). À cet égard, le requérant spécifie uniquement la puissance thermique linéique appliquée dans la zone centrale des logements du panier (zone de pic de puissance). L'IRSN considère qu'il devra simuler, lors de ces essais, la puissance thermique des assemblages combustibles sur toute leur longueur active. De ce fait, une puissance thermique, représentant à minima 2/3 de celle des assemblages combustibles et répartie sur toute la hauteur du panier située au droit de leur zone active, devrait être simulée lors des essais. **Ceci fait l'objet de l'observation n° 4 présentée en annexe à l'avis.** Le requérant a indiqué au cours de l'instruction que ces spécifications seront ajoutées dans la prochaine révision du dossier de sûreté.

L'étude du comportement thermique du modèle de colis en conditions accidentelles de transport a été réalisée sans tenir compte de l'évolution des propriétés thermiques des composants en acier et aluminium en fonction de la température. Aussi, le requérant a révisé ces calculs en tenant compte de ce point. Il en ressort une augmentation de la température des joints des composants de fermeture de l'enveloppe de confinement du colis pouvant atteindre 4 °C. Ces augmentations de température sont couvertes par les hypothèses considérées dans les démonstrations de sûreté relatives au confinement (températures des joints et des gaz de cavité majorées). **Ceci est satisfaisant.**

## 6 RADIOPROTECTION

Le requérant a établi un système d'inéquations permettant à un expéditeur, avant chargement de l'emballage, de vérifier le respect des critères réglementaires d'intensités maximales de rayonnement à partir des caractéristiques réelles des assemblages combustibles irradiés devant être transportés.

Ce système d'inéquations a été établi en considérant un profil d'irradiation standard pour les assemblages combustibles (correspondant à trois cycles d'irradiation). Le requérant s'est engagé à réaliser une étude de sensibilité relative à ce profil, tenant compte notamment de conditions d'irradiation des assemblages singulières.

Ainsi, il a justifié que la prise en compte d'assemblages combustibles ayant subi un seul cycle d'irradiation ne modifie pas le système d'inéquations. Pour prendre en compte des assemblages combustibles présentant des taux de combustion très importants ou une déformation axiale du profil d'irradiation (due par exemple à la présence lors du dernier cycle d'irradiation d'une barre de contrôle), le requérant introduit dans les inéquations, pour ces types d'assemblage, un coefficient de sécurité correspondant à une marge minimale de 10 % par rapport aux critères réglementaires d'intensité maximale de rayonnement. **Ceci n'appelle pas de remarque de l'IRSN à ce stade.**

## 7 FABRICATION, UTILISATION

En réponse à des engagements, le requérant a spécifié dans le dossier de sûreté :

- la réalisation d'opérations de dégazage des vis de fixation de classe de qualité élevée afin d'exclure tout risque de fragilisation dû à la présence d'hydrogène ;
- des consignes de vérifications renforcées des opérations de chargement des contenus et de fermeture du colis.

Ces compléments n'appellent pas de commentaire de l'IRSN.

## 8 CONCLUSION

En conclusion, l'IRSN estime que les justifications complémentaires et les évolutions apportées aux chapitres du dossier de sûreté relatif au modèle de colis TN G3 apportent les éléments techniques attendus dans le cadre des engagements repris dans la lettre de l'ASN de décembre 2017 en préalable à la poursuite de l'instruction de la demande d'agrément.

Toutefois, l'IRSN estime que le requérant devra réviser les prescriptions de serrage des vis de fixation des augets sur la virole, comme présenté lors de l'instruction, afin d'exclure tout risque de plastification de ces dernières.

Par ailleurs, l'IRSN estime que le requérant devrait consolider les démonstrations de sûreté dans le cadre de la prochaine demande d'agrément du modèle de colis TN G3 en tenant compte des observations formulées en annexe.

Pour le directeur général, par délégation

Igor LE BARS

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe à l'Avis IRSN n° 2018-00084 du 30 mars 2018

Observations

1 Description des aménagements internes

L'IRSN estime que le requérant devrait indiquer que chaque cale est constituée de tubes fermés, les tôles de liaison entre ces tubes étant espacées afin de permettre l'écoulement de l'eau.

2 Comportement mécanique du colis - CTR

2.1 L'IRSN estime que le requérant devrait spécifier la nouvelle prescription de serrage maximal des vis de fixation des diffuseurs de chaleur dans le dossier de sûreté.

2.2 L'IRSN estime que le requérant devrait spécifier des jeux axiaux entre les tôles du capot et les blocs de mousse, afin d'exclure les risques de plastification des tôles en cas de mise en dépression de la cavité des capots à la suite d'une ouverture des soupapes de dégazage. Dans le cadre de la prochaine prorogation, le requérant devrait confirmer que les études du comportement mécanique du colis en chutes couvrent un contact entre les blocs de mousse et l'enveloppe métallique du capot.

3 Comportement thermique du colis

L'IRSN estime que le requérant devrait, dans une prochaine version du dossier de sûreté, intégrer les calculs complémentaires considérant en conditions accidentelles de transport la dispersion en dehors des crayons de 12 % de la matière radioactive.

4 Fabrication

L'IRSN estime que le requérant devrait simuler, lors des essais de réception des emballages fabriqués, la puissance thermique des assemblages combustibles en tenant compte de leur longueur active totale. De ce fait, une puissance thermique, représentant à minima 2/3 de celle des assemblages combustibles et répartie sur toute la hauteur du panier située au droit de leur zone active, devrait être simulée. À l'image des essais réalisés sur d'autres modèles de colis, il devra être spécifié que les températures sont mesurées jusqu'à l'atteinte de l'équilibre thermique de l'emballage avec une précision de  $\pm 2$  °C.