



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité

IRSN
INSTITUT DE RADIOPROTECTION
ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE

Fontenay-aux-Roses, le 8 juillet 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00143

Objet : Transport - Extension d'agrément du modèle de colis TN G3

Réf. : [1] Lettre ASN CODEP-DTS-2022-013511 du 14 mars 2022.
[2] Règlement de transport de l'AIEA - SSR-6 - Édition de 2012.

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la conformité à la réglementation citée en seconde référence du modèle de colis TN G3, tel que décrit dans le dossier de sûreté joint à la demande d'extension d'agrément présentée par la société Orano Nuclear Packages and Services (Orano NPS, dénommée ci-après le requérant).

La présente demande d'extension d'agrément s'inscrit dans le contexte du renouvellement des moyens de transport des combustibles irradiés des centrales nucléaires de production d'électricité (CNPE) françaises vers l'usine Orano Recyclage de La Hague. En effet, les modèles de colis TN 12/2 et TN 13/2, actuellement utilisés pour ce type de transport, seront progressivement remplacés par le modèle de colis TN G3.

Le modèle de colis TN G3 dispose actuellement d'un agrément multilatéral de type B pour matières fissiles, pour le transport par voies routière, ferroviaire, maritime ou fluviale, d'au plus douze assemblages combustibles à base d'oxyde d'uranium. Depuis l'obtention du premier certificat d'agrément en 2018, trois certificats d'extension d'agrément ont été délivrés par l'ASN et expirent en 2023.

Dans les certificats en vigueur, le modèle de colis TN G3 est équipé de deux capots amortisseurs constitués de mousse de carbone (MDC). L'objet principal de la présente demande d'extension d'agrément est d'introduire une alternative à ce matériau pour des raisons d'approvisionnement. Le matériau alternatif est un nid d'abeille en aluminium croisé (NIDA). Le second objet de la présente demande d'extension d'agrément concerne l'intégration, à la définition du modèle de colis, d'un nouveau concept de couronne de support de jupe de fond, identique à celui du support de jupe de tête.

De l'évaluation des documents transmis, tenant compte des compléments apportés par le requérant au cours de l'expertise, l'IRSN retient les principaux éléments suivants.

MEMBRE DE
ETSON

1. DESCRIPTION DU MODÈLE DE COLIS

Description de l'emballage

L'emballage TN G3, de forme générale cylindrique, est constitué d'un corps équipé de deux capots amortisseurs à ses extrémités. Le corps de l'emballage est principalement composé, 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. L'emballage dispose de deux barrières d'étanchéité dont le système de fermeture est réalisé à l'aide d'un bouchon et d'un couvercle, équipés chacun d'un joint torique en élastomère.

Dans le cadre de la présente demande d'extension d'agrément, les capots amortisseurs pourront donc être soit remplis de MDC, soit remplis de NIDA, soit une configuration hydride pour laquelle le capot de tête et le capot de fond sont remplis respectivement de NIDA et de MDC. Le matériau NIDA est constitué de couches de feuillards d'aluminium ondulés, collés par juxtaposition alternée. Il présente deux directions fortes d'écrasement et une direction faible qui correspond à la direction perpendiculaire à l'empilement des feuillards.

Par ailleurs, pour faciliter les opérations de soudage des conducteurs en cuivre sur le support de jupe de fond, le requérant a intégré un nouveau concept de couronne en aluminium de ce support de jupe, identique à celui retenu pour la couronne du support de jupe de tête. Ce dernier avait fait l'objet d'une expertise de l'IRSN lors de la précédente demande d'extension d'agrément et n'appelait pas de remarque de l'IRSN. **Aussi, ce nouveau concept de couronne du support de jupe de fond n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Description du contenu

Le contenu transporté en emballage TN G3 est identique au contenu présenté dans les certificats en vigueur. Pour rappel, le contenu est constitué d'au plus douze assemblages combustibles à base d'oxyde d'uranium irradiés dans les réacteurs à eau sous pression du parc électronucléaire français.

2. COMPORTEMENT MÉCANIQUE DU MODÈLE DE COLIS

2.1. CONDITIONS DE TRANSPORT DE ROUTINE ET CONDITIONS NORMALES DE TRANSPORT

Le remplacement de la MDC par du NIDA induit une augmentation de la masse des capots. En conséquence, le requérant a complété ses démonstrations visant à justifier la résistance structurelle du modèle de colis TN G3 en conditions de transport de routine (CTR) et en conditions normales de transport (CNT), en tenant compte de cette augmentation de masse.

Pour ce qui concerne les CTR, le requérant a réévalué les contraintes des structures annexes des capots amortisseurs en reprenant la méthode et les critères précédemment employés et expertisés par l'IRSN. Les résultats des calculs prenant en compte l'augmentation de la masse du capot respectent les critères. **L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.**

S'agissant des CNT, du fait de la forme générale de l'emballage, le requérant a uniquement mis à jour la démonstration de sûreté relative à la chute axiale de 0,3 m en suivant des méthodes identiques ou similaires à celles précédemment employées et expertisées par l'IRSN. Les résultats du requérant montrent que les accélérations de l'emballage et les taux d'écrasement des capots en NIDA sont inférieurs à ceux déterminés lorsque le capot est constitué de MDC. Aussi, l'IRSN estime que le comportement mécanique en CNT du modèle de colis équipé de capots comportant du NIDA est couvert par le comportement mécanique du modèle de colis comportant des capots en MDC. **Ceci est satisfaisant.**

2.2. CONDITIONS ACCIDENTELLES DE TRANSPORT

Dans le cadre de la présente demande d'extension d'agrément, le requérant a mis à jour ses démonstrations de sûreté relatives à la résistance structurelle du modèle de colis à l'égard des épreuves de chutes réglementaires en conditions accidentelles de transport (CAT). Pour rappel, les démonstrations concernant des emballages munis de capots amortisseurs constitués de MDC ont été établies sur la base de résultats de simulations numériques réalisées à l'aide de modèles recalés sur des essais de chutes d'une maquette à échelle réduite représentative du modèle de colis. L'IRSN avait notamment estimé qu'une bonne concordance existait entre les résultats numériques et les mesures réalisées.

Les nouvelles démonstrations du requérant, concernant les emballages munis de capots constitués de NIDA, s'appuient quant à elles sur des simulations numériques comparées aux résultats des simulations numériques menées sur l'emballage équipé de capots en MDC. Un dossier de qualification du NIDA a également été transmis par le requérant afin de caractériser le comportement mécanique de ce matériau sur la base d'essais dits « sous-systèmes » réalisés en quasi-statique et en dynamique.

Conformément à la demande de l'ASN citée en première référence, l'expertise de l'IRSN porte sur la conformité à la réglementation du modèle de colis TN G3. Aussi, dans une démarche d'approche graduée, les remarques de l'IRSN concernant la note de qualification précitée, mises en exergue dans le présent avis, sont appréciées au regard des conclusions de l'étude du comportement mécanique du modèle de colis en CAT. **Par conséquent, ces remarques ne préjugent pas de l'avis de l'IRSN sur les démonstrations de sûreté relatives à d'autres modèles de colis utilisant cette note de qualification.**

2.2.1. Qualification du comportement mécanique du nid d'abeille en aluminium croisé

Comportement mécanique en quasi-statique à température ambiante

Le requérant a réalisé une campagne d'essais de compression sur des échantillons de NIDA. Sur la base de la comparaison des résultats de cette campagne à ceux issus d'un modèle numérique représentatif du banc d'essai, le requérant a déterminé la loi de comportement du matériau à intégrer dans le code de calcul utilisé pour réaliser les simulations numériques. À cet égard, il indique que les résultats des simulations numériques reproduisent correctement le comportement écrasé du nid d'abeille en quasi-statique. **Nonobstant certaines anomalies numériques relevées, l'IRSN estime que les conclusions du requérant sont satisfaisantes.**

Comportement mécanique en dynamique pour plusieurs niveaux de température

Afin de prendre en compte l'influence de la température dans la loi de comportement en dynamique du matériau, le requérant a réalisé une campagne d'essais de chute (axiale, oblique, latérale et sur un poinçon), pour plusieurs températures, sur des maquettes à échelle réduite comprenant des capots en NIDA représentatifs de ceux de l'emballage TN G3. En comparant les résultats des essais (niveaux d'accélération, d'écrasement et de déformation) à ceux issus d'une modélisation numérique représentative des maquettes d'essais et non du modèle de colis, le requérant détermine les modifications à apporter à la loi de comportement du matériau précitée. Il précise que seules les chutes axiales ont été utilisées pour déterminer la loi de comportement du matériau à retenir et que les chutes complémentaires n'ont pour objectif que de consolider la loi et les coefficients de correction en dynamique et en température. Il conclut que les écarts entre les résultats des essais et les simulations numériques sont négligeables.

Pour ce qui concerne la représentativité des maquettes d'essais, l'IRSN a relevé des écarts de conception entre la maquette et le modèle de colis. L'IRSN a également noté que, rapportée à l'échelle 1, la maquette présente une masse plus importante que le modèle de colis, ce qui est pénalisant en termes d'écrasement, mais pas en termes d'accélération. **L'IRSN estime cependant que ceci n'est pas de nature à mettre en cause la représentativité des maquettes utilisées par le requérant.**

Par ailleurs, s'agissant de l'analyse comparative des résultats numériques et expérimentaux, l'IRSN relève que les écarts des niveaux d'accélération peuvent être compris entre 5 % et 15 %. De plus, au cours de l'expertise, le requérant a transmis une analyse comparative des niveaux d'accélération issus des mesures expérimentales et des simulations numériques pour une chute à 20 °C en configuration axiale, pour une fréquence de filtrage cinq fois supérieure à la fréquence initialement utilisée. L'IRSN relève que, dans ce cas de chute précis, l'écart entre l'accélération maximale mesurée et l'accélération maximale calculée peut atteindre environ 10 % en augmentant la fréquence de filtrage des accélérations, ce qui n'est pas négligeable.

Aussi, l'IRSN estime que le requérant devrait quantifier les incertitudes relatives à la détermination des accélérations afin de les prendre en compte dans les études du comportement mécaniques en CAT du modèle de colis TN G3. En effet, l'IRSN considère que la prise en compte des incertitudes associées aux grandeurs dites « d'intérêt » fait partie intégrante du processus de qualification d'un outil de calcul scientifique. **Ceci conduit l'IRSN à formuler l'observation n° 1 en annexe au présent avis.**

2.2.2. Résultats de l'étude mécanique en CAT

La résistance structurelle du modèle de colis TN G3 équipé de capots amortisseurs en NIDA est démontrée sur la base de résultats de simulations numériques des chutes. La modélisation retenue est identique à celle utilisée pour étudier le comportement de l'emballage en chutes muni de capots en MDC, à l'exception de la MDC remplacée par le NIDA.

Les configurations et les orientations de chutes retenues sont justifiées par le requérant, par analogie, en s'appuyant notamment sur les configurations retenues et sur les résultats obtenus lors des essais et des simulations numériques réalisés pour des emballages munis de capots en MDC. L'objectif du requérant est de sélectionner les configurations de chutes conduisant à maximiser les sollicitations rencontrées par le système de fermeture, par les barrières de confinement et par les capots amortisseurs du modèle de colis. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Les résultats obtenus par le requérant montrent globalement que le remplacement de la MDC par du NIDA renforce les propriétés d'amortissement des capots, en particulier en configuration de chute axiale. Toutefois, les résultats des chutes latérales présentent des niveaux de décollements des plans de joints du bouchon et du couvercle supérieurs à ceux obtenus à partir de la modélisation munie de capots en MDC, tout en restant inférieurs aux critères retenus. De plus, l'IRSN relève que les marges de sûreté sont faibles, de l'ordre de quelques dizaines de micromètres. Pour rappel, pour le modèle de colis TN G3 équipé de capots amortisseurs en MDC, les critères de décollements avaient été validés par des mesures d'étanchéité réalisées à l'issue des essais de chutes réglementaires.

Dans le cadre de la présente demande, aucun essai de chute n'a été réalisé avec des capots en NIDA pour valider ces mêmes critères de décollement. Néanmoins, le requérant a démontré, en s'appuyant sur des calculs analytiques, que ces critères permettent, à l'issue d'une chute à basse température, de garantir un taux de compression du joint supérieur au taux minimal usuellement retenu pour garantir l'étanchéité des systèmes de fermeture d'un modèle de colis de transport.

En outre, l'IRSN relève que les niveaux de décollements les plus importants sont obtenus en configuration de chute latérale, dans laquelle les performances en termes d'amortissement mécaniques des capots sont les moins sollicités.

En conclusion, l'IRSN estime que le remplacement de la MDC par du NIDA n'est pas de nature à mettre en cause le maintien de l'étanchéité du modèle de colis TN G3 à l'issue des épreuves de chutes réglementaires.

2.2.3. Vieillessement des matériaux

Dans le dossier de sûreté transmis en appui de la demande d'agrément, le requérant ne présente aucun élément concernant l'effet du vieillissement sur les propriétés mécaniques du NIDA. Au cours de l'expertise, le requérant a transmis des éléments permettant de justifier que les propriétés mécaniques de l'aluminium, à la suite d'un

traitement thermique appliqué sur plus d'une année à une température supérieure à la température maximale atteinte en CNT, diminuent de manière peu significative. Par ailleurs, le requérant précise que les caractéristiques d'écrasement de l'amortisseur en NIDA dépendent avant tout de la taille des alvéoles et de l'épaisseur des feuillards. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Toutefois, le requérant n'a pas apporté de justification relative au maintien dans le temps des propriétés de la colle employée pour solidariser les feuillards d'aluminium constitutifs du NIDA du modèle de colis TN G3. L'IRSN relève que cette colle sera soumise à des niveaux de température d'environ 100 °C en CNT. **Ceci conduit l'IRSN à formuler l'observation n° 2 en annexe au présent avis.**

3. COMPORTEMENT THERMIQUE DU MODÈLE DE COLIS

Pour rappel, les démonstrations de sûreté relatives au comportement thermique du modèle de colis TN G3 équipé de capots amortisseurs constitués de MDC ont déjà fait l'objet d'expertises de l'IRSN. Les démonstrations reposent sur des simulations numériques pour lesquelles, de manière pénalisante, les capots amortisseurs n'ont pas été modélisés. Par conséquent, la substitution de la MDC par du NIDA n'a pas d'influence sur les conclusions des démonstrations de sûreté relatives au comportement thermique du modèle de colis TN G3. **Ceci n'appelle pas de remarque.**

4. RADIOPROTECTION

Dans le cadre de la présente demande d'extension d'agrément, le requérant a repris les démonstrations relatives aux calculs des débits d'équivalent de dose (DED) au contact et autour du modèle de colis, en s'appuyant sur les calculs réalisés pour la version de l'emballage muni de capots amortisseurs constitués de MDC. À cet égard, il a complété l'évaluation des DED en CTR en utilisant les mêmes méthodes de calculs que précédemment et en remplaçant la MDC du NIDA. Ce remplacement conduit à une diminution des DED en configuration axiale, les DED radiaux n'étant pas impactés par cette modification. **Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.**

Concernant les CAT, les évaluations des DED autour de l'emballage sont réalisées de manière pénalisante à l'aide d'un modèle numérique ne tenant pas compte des capots amortisseurs. **Ceci n'appelle pas de remarque.**

5. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés et en tenant compte des informations transmises par la société Orano NPS au cours de l'expertise, l'IRSN estime que le modèle de colis TN G3, tel que défini dans le projet de certificat d'agrément, est conforme aux prescriptions de l'édition 2012 du règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA applicable aux modèles de colis de type B(M) chargés de matières fissiles et transportés par voies routière, ferroviaire, maritime et fluviale.

Par ailleurs, l'IRSN estime que la société Orano NPS devrait tenir compte des observations formulées en annexe au présent avis, visant à améliorer la démonstration de sûreté.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Eric LETANG

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

ANNEXE À L'AVIS IRSN N° 2022-00143 DU 8 JUILLET 2022

Observations de l'IRSN

Observation n° 1

L'IRSN estime que la société Orano NPS devrait quantifier les incertitudes relatives à l'élaboration de la loi de comportement du matériau « nid d'abeille en aluminium croisé » afin d'en tenir compte dans l'étude du comportement mécanique du modèle de colis TN G3.

Observation n° 2

L'IRSN estime que la société Orano NPS devrait prendre en compte, dans sa démonstration de sûreté, l'influence du vieillissement de la colle utilisée pour constituer le nid d'abeille en aluminium croisé du modèle de colis TN G3.