

Fontenay-aux-Roses, le 30 juin 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN n° 2017-00219

Objet : Transport - Agrément du modèle de colis TN G3

Réf. 1. Lettre ASN CODEP-DTS-2016-001045 du 20 janvier 2016.
2. Règlement de transport de l'AIEA SSR-6, édition 2012.

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé au Président du groupe permanent d'experts pour les transports (GPT) de faire examiner, par ce groupe, la conformité du nouveau modèle de colis dénommé TN G3 au règlement des transports de substances radioactives sur la voie publique cité en seconde référence. Ce modèle de colis, dont la demande d'agrément a été transmise en novembre 2015 par la société AREVA TN, dénommée ci-après requérant, remplacera les emballages TN 12/2 et TN 13/2, actuellement utilisés pour les transports d'assemblages combustibles irradiés sur le territoire français.

Les principales conclusions de l'expertise réalisée par l'IRSN en vue de cet examen, tenant compte des compléments transmis par le requérant, sont détaillées dans le présent avis, ainsi que les recommandations associées de l'IRSN. En fin d'instruction, le requérant a adressé à l'ASN des engagements prenant en compte ces recommandations, hormis celle relative au taux de compression minimale de certains joints.

La demande d'agrément précitée concerne le transport par voies routière, ferroviaire et maritime, du modèle de colis TN G3 contenant jusqu'à douze assemblages combustibles à base d'oxyde d'uranium, irradiés dans les réacteurs à eau sous pression du parc électronucléaire français. Il s'agit d'une demande d'agrément dit multilatéral de type B pour matière fissile dans la mesure où certains paramètres définis par la réglementation n'ont pas été retenus pour la conception du modèle de colis. Ceci est permis par la réglementation des transports, mais induit alors des contraintes lors de la réalisation des transports. Ainsi, par exemple, la température minimale d'utilisation des joints d'étanchéité du modèle de colis qui a été retenue à la conception est de - 27 °C, alors que la réglementation fixe une température minimale forfaitaire de - 40 °C. Dès lors, il devra être vérifié, avant tout transport, que la température des joints ne pourra jamais être inférieure à - 27 °C durant le transport.

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

1 DESCRIPTION DU MODELE DE COLIS

Le modèle de colis TN G3 est constitué d'un emballage accueillant dans sa cavité un panier de 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, et de conducteurs thermiques délimitant des espaces remplis d'une protection radiologique et d'ailettes de refroidissement. En outre, le corps est équipé de capots amortisseurs de chocs 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 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.

Deux variantes de l'emballage (S et L), se différenciant principalement par leur longueur, sont respectivement destinées au transport des assemblages combustibles dits « courts » (« 12 pieds ») et « longs » (« 14 pieds »).

La présentation de l'emballage figurant dans le dossier de sûreté transmis est satisfaisante. **Toutefois, la description des cales introduites dans les logements du panier, afin de limiter les mouvements du contenu dans la cavité, devra être précisée pour confirmer qu'elles ne peuvent induire une rétention d'eau lors des opérations de chargement du colis.** Le requérant a indiqué qu'il précisera que ces cales sont pleines.

1.1 Caractérisation de la mousse de carbone

L'utilisation de mousse de carbone dans les capots amortisseurs d'emballages de transport de substances radioactives constitue une innovation. Aussi, le requérant a réalisé plusieurs campagnes d'essais afin de caractériser le comportement mécanique des blocs de mousse de carbone utilisés. Il a notamment étudié l'influence des types de sollicitations mécaniques (statiques et dynamiques), de la zone de prélèvement des blocs dans les plaques de mousse de carbone approvisionnées pour la fabrication des exemplaires d'emballage, du taux d'humidité du matériau, de la température et des sollicitations vibratoires rencontrées au cours des transports. Sur la base des résultats obtenus, il a déterminé une plage de variation des contraintes d'écrasement du matériau.

Ces paramètres sont retenus, d'une part dans les analyses du comportement mécanique du modèle de colis à l'issue des épreuves de chute réglementaires, d'autre part pour définir les critères de recette des plaques de mousse de carbone approvisionnées pour la fabrication des exemplaires d'emballage.

L'IRSN considère adapté le programme de caractérisation de la mousse de carbone réalisé par le requérant. Toutefois, le caractère majorant des sollicitations vibratoires retenues lors des essais, au regard de celles qui seront subies par les emballages pendant toute la durée d'exploitation des capots, n'est pas acquis. À cet égard, les essais ont montré l'existence de phénomènes de vieillissement susceptibles d'affecter le comportement mécanique des blocs (usure par érosion...), qui sont toutefois restés limités. Or, le requérant ne prévoit pas, lors des opérations de maintenance périodique du colis, de contrôler l'état des blocs de mousse de carbone des capots, ce qui ne permettra pas de conforter les conclusions des campagnes de caractérisation réalisées.

L'IRSN considère que le requérant devra mettre en place, *a minima* pour un capot représentatif, un contrôle en service de la mousse de carbone afin de justifier le maintien dans le temps de ses propriétés mécaniques.

1.2 Caractérisation de l'amortisseur de cavité

Le bouchon de fermeture de la cavité est équipé d'un amortisseur interne, composé de tubes métalliques, destiné à limiter les sollicitations transmises aux composants de fermeture de la cavité en cas d'impact du contenu en conditions accidentelles. L'IRSN considère que ce système renforce la sûreté du modèle de colis.

Les propriétés mécaniques de ces tubes seront vérifiées, lors des fabrications, par échantillonnage des lots de tubes approvisionnés. À cet égard, l'IRSN estime que le requérant devra justifier la pertinence de l'échantillonnage retenu au regard de la taille des lots de tubes approvisionnés.

2 COMPORTEMENT MECANIQUE DU COLIS

2.1 Conditions de transport de routine

La tenue mécanique des composants du colis en conditions de transport de routine a été convenablement justifiée par le requérant. Cela concerne notamment le dimensionnement des moyens de manutention et d'arrimage.

2.2 Conditions normales et accidentelles de transport

L'étude du comportement mécanique du modèle de colis lors des épreuves réglementaires représentatives des conditions normales et accidentelles de transport repose, d'une part sur des essais réalisés avec une maquette du modèle de colis, d'autre part sur des calculs numériques. Ces calculs visent principalement à évaluer la sensibilité du comportement du colis à la variation de certains paramètres, notamment pour définir les caractéristiques des essais, ou à analyser les conséquences des modifications apportées au modèle de colis après les essais.

L'IRSN a, dans des expertises réalisées avant le déroulement des essais, d'une part estimé que la maquette utilisée était globalement satisfaisante, d'autre part recommandé des compléments au programme d'essai proposé qui ont été *in fine* pris en compte par le requérant.

Le comportement de la virole de l'emballage et des tapes de protection des composants de fermeture des orifices latéraux de l'emballage, dans les configurations de chute du colis d'une hauteur de 1 m sur poinçon, a été analysé par calculs numériques.

En liminaire, l'IRSN relève que l'approche retenue pour l'étude du comportement mécanique du modèle de colis lors des chutes, combinant essais dédiés et calculs numériques, permet de disposer, d'une part d'une base expérimentale démonstrative, apportant des garanties directes sur le comportement du modèle de colis, d'autre part d'éléments pour la validation des modèles numériques utilisés.

Les observations et les mesures effectuées à la suite des essais de chute montrent un comportement satisfaisant du colis, notamment concernant les taux de fuite relevés à l'issue des chutes.

En revanche, les résultats obtenus à l'aide des modèles numériques, incluant les dernières modifications de conception, devront être consolidés. En effet, des niveaux élevés de déformation plastique, n'ayant pas de sens physique, ont été localement calculés pour certains composants de l'enveloppe de confinement. Ces déformations, qui peuvent dépasser l'allongement à la rupture des composants, ne sont pas cohérentes avec les constatations réalisées à l'issue des essais.

L'IRSN estime que le requérant doit analyser ces singularités afin de conclure formellement sur l'intégrité de la fonction d'étanchéité des enveloppes de confinement du modèle de colis à l'issue des chutes libres représentatives des conditions accidentelles de transport.

La justification du comportement du système de fixation des capots amortisseurs a fait l'objet, lors de l'instruction, de compléments notables visant notamment à définir expérimentalement ses caractéristiques mécaniques (critère de rupture). **L'IRSN souligne l'intérêt de la démarche du requérant.** Toutefois, les plages de variation de certains paramètres sont restées limitées lors des essais. À cet égard, le requérant a indiqué au cours de l'instruction qu'il révisera les spécifications d'approvisionnement, d'une part des vis de ce système afin de réduire les variations possibles de leurs propriétés mécaniques, d'autre part des composants en acier des capots en limitant leur caractéristiques mécaniques maximales, de manière à limiter les sollicitations subies par les vis. **L'IRSN estime ces dispositions satisfaisantes.**

Les études numériques du comportement du colis à l'issue de chutes sur poinçon ne sont pas totalement validées, des développements méthodologiques restant à faire. **À cet égard, les résultats obtenus par le requérant présentant peu de marges, l'IRSN estime que ce dernier devra revoir le concept des tapes de protection des orifices.**

Au vu des résultats de l'étude du comportement mécanique de l'amortissement interne, il apparaît que le critère d'écrasement maximal des tubes le composant est atteint. Toutefois, les calculs sont réalisés en considérant des hypothèses pénalisantes (contenu modélisé par des éléments infiniment rigides notamment). **L'IRSN considère que le requérant devra réaliser une étude de sensibilité concernant, par exemple, la modélisation des assemblages combustibles afin de vérifier l'existence de marges suffisantes.**

Enfin, l'étude du comportement du panier interne lors des chutes repose sur des calculs numériques. Ces calculs appellent un certain nombre de remarques de l'IRSN. Toutefois, elles ne mettent pas en cause le niveau de sûreté du colis, le panier étant considéré détruit dans les études de criticité et de radioprotection en conditions accidentelles de transport.

2.3 Influence du châssis de transport

Le requérant a réalisé des calculs visant à justifier que le châssis de transport utilisé n'a pas d'influence sur les dommages évalués pour le colis, considéré seul, à l'issue des épreuves de chute réglementaires. Le modèle de calcul utilisé prend en compte le modèle de colis, la liaison colis - châssis, la partie supérieure des bras support du châssis et la masse totale du châssis. Le requérant étudie notamment la configuration d'une chute libre de l'ensemble emballage-châssis en position horizontale avec un impact sur le châssis. Il conclut que le châssis ne modifie pas les conclusions des études du comportement mécanique du modèle de colis, du fait notamment de l'absence de déformation plastique des vis de fixation du couvercle et de la bride de serrage.

Les études réalisées n'appellent pas de remarque de l'IRSN. **Toutefois, le requérant devra justifier certaines hypothèses retenues dans ses études, notamment les critères considérés pour exclure la rupture de certains composants étudiés.**

2.4 Analyse du risque de rupture fragile

Le requérant analyse le risque de rupture fragile, à basse température, de certains composants de l'enveloppe de confinement du colis dont l'acier est sensible à ce risque. Pour cette analyse, il considère une ténacité minimale dynamique à froid des aciers et des défauts de référence dans les pièces réalisées et conclut à l'absence de risque.

Les conclusions du requérant n'appellent pas de remarque de l'IRSN. **Le requérant devra toutefois compléter son analyse en justifiant, d'une part la capacité des moyens de contrôle utilisés lors de la fabrication à détecter les défauts de référence précités, d'autre part les dispositions garantissant les propriétés mécaniques des composants étudiés.**

3 COMPORTEMENT THERMIQUE DU COLIS

L'évaluation du comportement thermique du modèle de colis TN G3, dans toutes les conditions de transport, repose sur des calculs numériques. Seuls les coefficients d'échanges convectifs entre l'emballage et le milieu ambiant ont été déterminés expérimentalement.

Les études du comportement thermique du modèle de colis ont été complétées au cours de l'instruction afin de justifier notamment la représentativité des essais réalisés. **L'IRSN considère ces compléments satisfaisants.**

3.1 Conditions normales de transport

Le requérant évalue le comportement thermique du modèle de colis TN G3 en tenant compte des données d'ambiance thermique pour les conditions normales de transport spécifiées dans la réglementation. Cette étude, qui couvre les conditions de transport de routine, ainsi que les résultats obtenus n'appellent pas de remarque de l'IRSN.

À cet égard, compte tenu de la puissance thermique des assemblages combustibles chargés, la température des surfaces accessibles du colis peut être supérieure à 50 °C en conditions de transport de routine. **Par conséquent, selon la réglementation, les transports du modèle de colis devront être réalisés selon les modalités des transports dits « sous utilisation exclusive ».**

Des études réalisées, le requérant conclut que les températures maximales admissibles des composants importants pour la sûreté du colis ne sont pas dépassées. **Ceci n'appelle pas de remarque de l'IRSN.**

3.2 Conditions accidentelles de transport

Le requérant évalue le comportement thermique du modèle de colis lors de l'épreuve réglementaire d'incendie (feu enveloppant de 800 °C pendant 30 minutes) représentative des conditions accidentelles de transport, en tenant compte des dommages au colis découlant des chutes associées à ces conditions. Plusieurs configurations de calculs, incluant notamment des mouvements possibles du panier et des assemblages combustibles, sont étudiées.

Au vu des résultats obtenus, le requérant conclut que les fonctions de sûreté du colis restent assurées. Notamment, des marges de plusieurs dizaines de degrés sont mises en évidence pour les joints d'étanchéité du colis.

Dans ces études, le requérant retient la dispersion dans la cavité du colis de 1 % en masse de la matière radioactive transportée. L'IRSN estime que le caractère majorant de cette hypothèse n'est pas démontré. En effet, le comportement mécanique des gaines des crayons combustibles irradiés pour les sollicitations associées aux conditions accidentelles de transport n'est pas justifié par le requérant. À cet égard, l'ASN a demandé d'évaluer le comportement thermique d'autres modèles de colis transportant des combustibles irradiés en considérant en condition accidentelle de transport une dispersion supérieure à celle retenue par le requérant. **L'IRSN estime que le requérant devra mettre à jour l'étude thermique en considérant cette hypothèse.**

4 CONFINEMENT

Le requérant évalue les rejets potentiels de substances radioactives à l'issue des épreuves réglementaires représentatives des conditions normales et accidentelles de transport, au regard des exigences de la réglementation.

Ces études ont été mises à jour au cours de l'instruction en considérant, pour les conditions normales de transport, la rupture de crayons étanches au chargement et de l'ensemble des crayons réputés non étanches. Ces études concluent au respect du critère réglementaire de relâchement d'activité du colis dans ces conditions. **À cet égard, l'IRSN estime que le requérant devra compléter ses justifications afin de montrer le conservatisme du taux de rupture des crayons étanches retenus pour les conditions normales de transport, au regard notamment du taux de combustion maximal de ces derniers.**

Concernant les conditions accidentelles de transport, le critère réglementaire de relâchement d'activité du colis est respecté avec des marges significatives et en considérant des hypothèses pénalisantes (rupture de l'ensemble des crayons, températures des joints supérieures à celles déterminées à l'issue de l'épreuve de feu...).

Par ailleurs, le requérant étudie le comportement des joints d'étanchéité en température pour les différentes conditions de transport. Il justifie notamment que le taux de remplissage des gorges des joints est toujours inférieur à 100 %, **ce qui est satisfaisant.**

Le requérant conclut en outre que l'étanchéité des joints des enveloppes de confinement est assurée dans toutes les conditions de transport, leur taux de compression étant toujours supérieur à la valeur usuellement retenue pour garantir leur étanchéité (15 %). Toutefois, dans ses évaluations, le requérant ne tient pas compte, pour tous les joints, de la déformation rémanente à la compression. Pour rappel, ce phénomène vise à prendre en compte les évolutions des caractéristiques des joints du fait des opérations successives d'ouverture et de fermeture des composants.

En tenant compte de ce phénomène, le taux de compression des joints d'étanchéité des sièges de tampon et des tampons des orifices latéraux pourrait être inférieur à 15 %. **De ce fait, l'IRSN recommande que les joints qui équipent les sièges de tampon et les tampons des orifices de l'emballage soient redimensionnés ou qu'une analyse soit transmise afin de montrer leur étanchéité pour les taux de compression minimaux déterminés. Ceci fait l'objet de la recommandation présentée en annexe de cet avis, le requérant ne s'étant pas engagé sur ce point à l'issue de l'instruction.**

5 RADIOPROTECTION

Pour tenir compte des exigences de la réglementation visant à définir un domaine de fonctionnement pour la radioprotection (caractéristiques maximales admissibles), assurant le respect des critères réglementaires avant les opérations de chargement, le requérant s'appuie sur une nouvelle démarche reposant sur un système d'inéquations définies en tenant compte des caractéristiques du modèle de colis TN G3. L'expéditeur vérifiera que ces inéquations sont respectées pour les caractéristiques réelles des combustibles à transporter, en préalable aux opérations de chargement.

L'IRSN estime la méthode présentée par le requérant acceptable. Toutefois, d'une part des études de sensibilité des résultats à certains paramètres devront être réalisées, notamment concernant le profil d'irradiation des combustibles chargés, d'autre part un retour d'expérience devra être formalisé à partir des mesures réalisées avant expédition.

6 RISQUES « SUBSIDIAIRES »

Le chargement d'assemblages combustibles présentant des crayons non étanches au chargement est considéré pour le modèle de colis TN G3. Pour rappel, ces crayons peuvent contenir de l'eau dont l'extraction n'est pas assurée lors des opérations de séchage de la cavité de l'emballage. Aussi, la radiolyse de cette eau lors du transport va entraîner une accumulation d'hydrogène dans la cavité. Afin de prévenir la création d'une atmosphère inflammable dans la cavité au cours du transport, une mesure de la production d'hydrogène dans la cavité chargée est réalisée avant expédition. La valeur mesurée est extrapolée, de manière linéaire, pour déterminer la durée maximale du transport assurant que la limite inférieure d'inflammabilité de l'hydrogène dans la cavité du colis ne sera pas atteinte. **L'IRSN estime satisfaisante la démarche présentée par le requérant.**

Par ailleurs, le requérant a réalisé un essai afin de démontrer l'efficacité de la procédure de séchage de la cavité du colis avant expédition. Au vu des résultats obtenus, il considère notamment que ce séchage permet d'exclure, pour l'ensemble des chargements, les risques d'accumulation significative d'hydrogène liée à la radiolyse de l'eau résiduelle dans la cavité de l'emballage. **Ceci n'appelle pas de remarque particulière de l'IRSN.**

Toutefois, s'agissant d'un nouveau concept de panier et d'emballage, l'IRSN estime que le requérant pourrait conforter l'efficacité des opérations de séchage de la cavité en s'appuyant sur le retour d'expérience des mesures d'hydrogène dans la cavité des colis réalisées après transport.

7 SURETE-CRITICITE

Le requérant démontre la prévention des risques de criticité pour les conditions normales et accidentelles de transport en tenant compte d'une pénétration limitée d'eau dans la cavité. En effet, le modèle de colis TN G3 est équipé de deux barrières dont l'intégrité est démontrée à l'issue des épreuves réglementaires représentatives des conditions normales et accidentelles de transport. **Les études réalisées par le requérant et les résultats obtenus n'appellent pas de remarque de l'IRSN.**

8 FABRICATION, UTILISATION ET MAINTENANCE DU COLIS

Le requérant présente, dans le dossier de sûreté, les opérations de vérification de la conformité du colis réalisées à l'issue des opérations de fabrication. À cet égard, il classe les composants du modèle de colis en fonction de leur importance pour la sûreté. À chaque niveau, sont associées des exigences de contrôle en fabrication. **Ceci n'appelle pas de remarque de l'IRSN.**

Des vis de classe de qualité 10.9 sont utilisées pour le modèle de colis TN G3. Ce type de vis présente un risque de fragilisation par de l'hydrogène si des précautions ne sont pas prises lors de leur fabrication. **Aussi, l'IRSN estime que le requérant devra compléter les spécifications de contrôle des vis de classe de qualité 10.9 afin d'écartier le risque de fragilisation dû à la présence d'hydrogène.**

Par ailleurs, le requérant réalise un essai, à l'issue des opérations de fabrication, pour au moins un exemplaire d'emballage visant à confirmer les capacités de dissipation thermique. **Ceci est satisfaisant. L'IRSN estime que le requérant devra spécifier la puissance thermique qui sera simulée lors de cet essai.**

Les éléments présentés dans le dossier de sûreté pour l'utilisation et la maintenance des colis n'appellent pas de remarque particulière de l'IRSN.

9 ASSURANCE DE LA QUALITE

Le requérant définit les actions de vérification de la cohérence entre le dossier de sûreté et les documents d'exploitation associés (spécifications et gammes de fabrication, « dossiers constructeur », notice d'utilisation, programme de maintenance, procédures et gammes opératoires des utilisateurs...), y compris pour les documents émis par des sociétés distinctes de celle du concepteur, ainsi que les responsabilités correspondantes. **Ceci n'appelle pas de commentaire.**

Enfin, **l'IRSN estime que le dossier de sûreté du modèle de colis devra être mis à jour de manière à intégrer les évolutions apportées au concept d'emballage et les compléments transmis au cours de l'instruction.**

10 CONCLUSION

Après expertise du dossier de sûreté transmis, complétés par les éléments apportés au cours de l'instruction, et compte tenu des engagements pris par le requérant à la fin de l'instruction, l'IRSN estime que les versions S et L du modèle de colis TN G3 sont conformes aux prescriptions de l'édition 2012 de la réglementation des transports de l'AIEA applicables aux colis de type B(M) pour matière fissile, sous réserve de la prise en compte de la recommandation rappelée 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° 2017-002019 du 30 juin 2017

Recommandation

L'IRSN recommande que la société AREVA TN redimensionne les joints d'étanchéité qui équipent les sièges de tampon et les tampons des orifices latéraux du modèle de colis TN G3 afin de garantir que leur taux de compression minimal reste supérieur à 15 % dans toutes les conditions de transport ou démontre leur étanchéité pour le taux de compression déterminé pour ces conditions de transport.