

Fontenay-aux-Roses, le 30 mai 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2024-00079

Objet : Transport - Demande d'agrément du modèle de colis R85

Réf. : [1] Lettre ASN CODEP-DTS-2023-042749 du 9 août 2023.
[2] Règlement de transport de l'AIEA - SSR-6 - Édition de 2018.

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) sollicite l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la conformité à la réglementation citée en seconde référence du modèle de colis R85, pour lequel la société ROBATEL Industries (dénommée « le requérant » dans la suite du présent avis) a demandé l'agrément en juillet 2023.

Le requérant demande l'agrément de ce modèle de colis, en tant que colis de type B(U), afin d'assurer le transport sur la voie publique, par voies routière, ferroviaire ou fluviale, de l'emballage R85 chargé de tubes guides de grappes (GdG) issus du parc électronucléaire français.

Une première demande d'agrément de ce modèle de colis a fait l'objet d'une expertise de l'IRSN, dont les conclusions et les engagements pris par le requérant dans ce cadre ont été présentés au groupe permanent d'experts pour les transports en mars 2022. À l'issue de l'instruction de cette demande d'agrément, l'ASN a conclu que le modèle de colis R85 était conforme aux prescriptions réglementaires relatives aux conditions de transport de routine (CTR) et aux conditions normales de transport (CNT), mais que, le respect de l'ensemble des exigences réglementaires des conditions accidentelles de transport (CAT) n'étant pas démontré, le modèle de colis ne pouvait être, en l'état de sa démonstration de sûreté, agréé par l'ASN. L'ASN a formulé des demandes à prendre en compte dans le cadre d'une nouvelle demande d'agrément initial. La présente demande d'agrément vise à répondre aux engagements et aux demandes précitées.

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

1. DESCRIPTION DU MODÈLE DE COLIS

Le concept de l'emballage R85, ainsi que les contenus à transporter présentés par le requérant dans sa nouvelle demande d'agrément, n'ont pas évolué par rapport à ceux de la première demande d'agrément. Pour rappel, l'emballage R85 est constitué d'un corps d'emballage de forme cylindrique composé d'une enveloppe interne et d'une enveloppe externe, en acier inoxydable. Entre ces deux enveloppes, sont placés des viroles en acier inoxydable, complétant la protection radiologique de l'emballage, et du compound dédié à la protection thermique. Le corps de l'emballage R85 est équipé de tourillons en acier inoxydable pour la manutention et l'arrimage du colis.

L'enveloppe de confinement de l'emballage R85 est délimitée par l'enveloppe interne de l'emballage (et ses soudures associées), qui est fermée par un couvercle en acier inoxydable. Ce couvercle est équipé de joints d'étanchéité en élastomère de type EPDM (éthylène-propylène-diène-monomère) et d'un orifice d'accès à la cavité couvert en transport par une tôle de fermeture munie de joints d'étanchéité également en EPDM. Chaque extrémité (avant et arrière) de l'emballage R85 est équipée d'un capot de protection constitué de blocs de bois et de compound.

L'emballage R85 est destiné au transport des tubes guides de grappes usagés, se présentant sous forme de structures tubulaires en acier inoxydable. Ces tubes guides, utilisés dans le cœur des réacteurs électronucléaires français, sont activés et potentiellement contaminés. Il en existe trois types, respectivement pour les réacteurs de 900 MWe, de 1 300 MWe et de 1 450 MWe, qui se différencient principalement par leur longueur. La cavité de l'emballage R85 est équipée d'un panier dans lequel sont placés les tubes GdG.

2. COMPORTEMENT MÉCANIQUE

S'agissant des CTR, le requérant a apporté des réponses aux demandes de l'ASN relatives à la fermeture, à l'arrimage et à la manutention du modèle de colis R85. **L'IRSN estime que ces réponses sont satisfaisantes.**

Concernant les CAT, pour rappel, dans le précédent dossier de sûreté, l'analyse du comportement mécanique du modèle de colis R85 a été étudiée par le requérant uniquement par des simulations numériques en dynamique rapide à l'aide du code de calcul aux éléments finis LS-DYNA. Dans le cadre de la présente demande d'agrément, conformément à des engagements pris lors de la précédente expertise, le requérant s'appuie dorénavant, en sus des simulations numériques, sur des essais de chute. Ainsi, il a réalisé, sur une maquette à l'échelle $\frac{1}{4}$ représentative du modèle de colis R85, trois essais de chute libre de 9 m (une chute axiale sur le capot avant, une chute horizontale et une chute oblique) et un essai de chute sur poinçon en position horizontale. En toute fin d'expertise, il a complété ces essais par une chute sur poinçon en position oblique avec un angle de 15° par rapport au sol, angle qui présente, dans les simulations numériques, la marge minimale à l'égard de l'allongement limite à la rupture de la virole. Les hauteurs de chute ont été ajustées de sorte que l'énergie totale absorbée par la maquette soit représentative de celle absorbée par le modèle de colis R85.

Concernant les chutes libres de 9 m, la chute axiale sur capot avant figure parmi les trois orientations de chutes retenues dans la mesure où cette chute conduisait au décollement maximum du couvercle dans les simulations numériques de la précédente expertise. À l'issue des chutes, aucun desserrage des vis du couvercle n'est observé et le flux de fuite a été conservé. **L'IRSN estime que ceci permet de répondre de manière satisfaisante à l'un des engagements du requérant.**

S'agissant des deux chutes libres de 1 m sur poinçon, elles ont été réalisées de sorte que l'impact du poinçon se produise au milieu du corps de l'emballage, dans une zone où aucune virole intermédiaire relative à la protection radiologique n'est présente, **ce qui est pénalisant**. Lors de ces chutes, le poinçon a perforé la virole externe et déformé la virole interne sans la rompre. La flèche de la virole interne obtenue à l'issue de ces deux essais est du même ordre de grandeur. À l'issue des essais, la maquette est restée étanche et les déformations (rapportées à l'échelle 1) sont plus faibles que celles constatées dans les simulations numériques du modèle de colis R85. Les résultats obtenus pour ces chutes, et le fait d'avoir réalisé une chute horizontale et une chute oblique avec un angle de 15° , **permettent, d'une part de répondre de manière satisfaisante à une demande de l'ASN relative à l'orientation de chute pénalisante à considérer, d'autre part d'écarter le risque de perforation de la virole interne.**

Pour consolider l'absence de risque de perforation de la virole, le requérant a également réalisé, en réponse à l'un de ses engagements, des essais de poinçonnement en vitesse quasi-statique, en position horizontale, à partir de deux versions de maquette à l'échelle $\frac{1}{2}$. La première version de maquette est représentative de la partie centrale du corps de l'emballage en termes de géométrie (épaisseurs des tôles et diamètres des viroles, mais avec des caractéristiques mécaniques néanmoins plus robustes que l'emballage R85) et l'autre version est

représentative de la virole interne de l'emballage. Ces essais permettent d'estimer l'énergie absorbable par les viroles et le compound avant rupture de la virole interne. Le requérant compare les résultats des essais à des résultats de calculs numériques simulant ces essais, avec le même code de calcul (LS-DYNA), la même méthode et la même définition de maillage que ce qui est mis en œuvre pour les études du comportement mécanique du modèle de colis R85 en cas de chute sur poinçon. À cet égard, le requérant constate que la rupture de la virole est atteinte, lors des simulations numériques, pour une énergie globale significativement plus faible que lors des essais de poinçonnement, ce qui est conservatif. **Aussi, le raffinement du maillage retenu par le requérant au niveau de l'impact du poinçon est adapté, ce qui permet de répondre de manière satisfaisante à une demande de l'ASN portant sur ce sujet.** Cependant, le principe de cette démonstration est acceptable uniquement pour le cas de la chute libre en position horizontale puisque, pour la chute libre en position oblique, d'autres phénomènes comme le cisaillement sont davantage présents. **En conclusion, compte tenu des essais de poinçonnement réalisés et des écarts constatés entre ces essais et leurs simulations numériques, l'IRSN estime que le requérant a répondu de manière satisfaisante aux demandes de l'ASN, ainsi qu'à son engagement, relatifs à la justification de la représentativité physique des critères d'érosion retenus pour modéliser la rupture des aciers et du compound dans les simulations numériques des chutes libres de 1 m sur poinçon, mais uniquement pour une chute en position horizontale.** Enfin, l'un des essais de poinçonnement a été effectué sur la soudure longitudinale de la virole interne. Le requérant indique pour cet essai que l'énergie de rupture de la virole dans cette zone est supérieure par rapport à une zone non soudée. **Ceci permet de répondre de manière satisfaisante à une demande de l'ASN visant à étudier le comportement mécanique des zones soudées (soudures et zones thermiquement affectées) de la virole interne lors de la chute sur poinçon du modèle de colis R85.**

Par ailleurs, le requérant a révisé les simulations numériques, présentées dans le précédent dossier de sûreté, du comportement mécanique du modèle de colis R85 lors des épreuves de chute représentatives des CAT. En réponse à une demande de l'ASN, il modélise désormais les aménagements internes et le contenu du modèle de colis R85. **L'IRSN estime que ceci est satisfaisant.** Pour rappel, les orientations des chutes libres restent identiques à celles précédemment étudiées et permettent de couvrir un panel plus large d'orientations de chute que celles réalisées à partir de la maquette à l'échelle ¼. Pour ce qui concerne les vis de fixation importantes pour la sûreté du modèle de colis R85, modélisées en considérant leurs contraintes équivalentes, le requérant analyse leur adéquation, conformément à un de ses engagements. Le comportement global des vis dans les simulations numériques est corroboré par les essais de chute libres réalisés. Lors de ces essais, les vis du couvercle ne se sont pas desserrées et la maquette à l'échelle ¼ a conservé son étanchéité, ce qui confirme l'absence de déformation importante des vis. Néanmoins, dans la mesure où des déformations importantes sont constatées dans les simulations numériques, le requérant pourrait justifier le caractère local des phénomènes dans son modèle numérique. **Aussi, l'IRSN estime que les éléments présentés par le requérant ne permettent de répondre que partiellement à la question de sûreté portée par l'un de ses engagements.**

De plus, bien que le critère de déformation retenu pour le corps et le couvercle soit atteint, voire dépassé pour certaines simulations relatives aux chutes libres de 9 m, le requérant considère que le caractère localisé de ce dépassement ne met pas en cause la conclusion de la démonstration. **À cet égard, l'IRSN estime que le requérant pourrait définir la notion de « zone localisée » lorsque les contraintes dépassent les critères de dimensionnement retenus et justifier que celles-ci sont non significatives en termes de sûreté.** Par ailleurs, bien que le requérant ait réalisé des essais de chute libre représentatifs des CAT, il n'a pas apporté d'éléments relatifs à la qualification de ses simulations numériques puisqu'aucune modélisation de la maquette à l'échelle ¼ n'a été effectuée. Néanmoins, le requérant estime que le modèle numérique du modèle de colis R85 est suffisamment représentatif de la maquette à l'échelle ¼ pour lui être comparé, notamment en relevant des cinétiques de chute similaires (déformations et accélérations). Pour l'IRSN, dans la mesure où aucune qualification d'un modèle numérique représentatif de la maquette à l'échelle ¼ n'a été réalisée sur la base des essais de chute, les résultats obtenus par les simulations numériques, représentatives du modèle de colis R85, sont sujets à des incertitudes non quantifiées. L'IRSN rappelle que, à l'issue de l'instruction du dossier d'option de sûreté du modèle de colis R85, l'ASN invitait le requérant à tenir compte des recommandations énoncées

dans le guide de l'ASN n° 28, relatif à la qualification des outils de calcul scientifique utilisés dans les démonstrations de sûreté nucléaire. **En tout état de cause, les essais de chute libres de 9 m réalisés ont montré que le couvercle et le corps sont restés intègres, contrairement à ce qu'indique les simulations numériques. Aussi, l'IRSN estime que les éléments présentés par le requérant permettent de répondre de manière satisfaisante à l'un de ses engagements, même si le requérant n'a pas apporté, sur le principe, d'éléments permettant de valider ses simulations numériques.** Enfin, les simulations numériques ont été réalisées en considérant les propriétés mécaniques statiques du bois dans les capots amortisseurs. Du fait des incertitudes de calcul évoquées ci-avant, l'IRSN estime que le requérant pourrait s'assurer que son modèle numérique reste prédictif en cas de prise en compte de l'effet dynamique du bois ou qu'il justifie le caractère limité de cet effet. **Dès lors, l'IRSN estime que les éléments présentés par le requérant ne permettent pas de répondre de manière satisfaisante à deux demandes de l'ASN portant sur les caractéristiques du bois simulé lors des chutes libres de 9 m.**

Enfin, la réponse apportée par le requérant à une demande l'ASN relative aux conséquences du cumul des chutes libres de 9 m et sur poinçon, **est satisfaisante.**

3. THERMIQUE

Le requérant a peu fait évoluer l'étude du comportement thermique du modèle de colis R85 par rapport à la précédente demande d'agrément. Pour rappel, les analyses du comportement thermique du modèle de colis R85 sont réalisées à l'aide de deux modèles aux éléments finis en 2D axisymétriques qui représentent les principaux éléments du corps et des capots amortisseurs. Ces modèles se différencient principalement par la présence du bois dans le capot avant.

Dans son étude, le requérant n'a pas apporté d'éléments relatifs à la validation du code utilisé, et au choix des hypothèses retenues, pour modéliser le phénomène de combustion du bois des capots. Il convient de noter que le modèle de calcul ne permet pas de tenir compte des phénomènes de circulation des gaz chauds produits par la combustion qui peuvent influencer sur la température des composants du colis (notamment des joints en élastomère). **L'IRSN estime donc que la demande de l'ASN portant sur ce sujet reste d'actualité.** Toutefois, compte tenu des marges disponibles sur la température de joint (de plus 60 °C), **l'IRSN estime que ceci n'est pas de nature à mettre en cause la tenue des joints en température du modèle de colis R85.**

4. CONFINEMENT

En réponse à deux demandes de l'ASN visant à justifier le caractère conservatif des fractions de contamination non fixée, considérées comme pouvant être mise en suspension dans la cavité du modèle de colis R85 en CNT et en CAT, le requérant a révisé sa démonstration. Désormais, il considère que l'ensemble de la contamination est labile. Ensuite, il estime la fraction relâchable en s'appuyant sur un taux de remise en suspension des aérosols estimé par la société Électricité de France (EDF) en cas d'une chute de poudre d'une hauteur de 3 m. **Ceci n'appelle pas de remarque de l'IRSN pour ce qui concerne la représentativité de ces scénarii par rapport aux CNT.** En revanche, s'agissant des CAT, l'article sur lequel s'appuie la note EDF rappelle que la hauteur de chute a une forte influence sur le taux de remise en suspension, ce qui pourrait mettre en cause l'application de ce coefficient aux CAT. Néanmoins, l'IRSN a vérifié que, si la totalité de la contamination était remise en suspension, le relâchement d'activité cumulé sur une semaine resterait inférieur au critère réglementaire en CAT. **Aussi, l'IRSN estime que ceci n'est pas de nature à mettre en cause le respect des critères réglementaires de relâchement d'activité en CNT et en CAT et que les deux demandes de l'ASN peuvent être soldées.**

Par ailleurs, à l'issue de l'instruction de la précédente demande d'agrément, l'ASN a demandé au requérant de justifier que les taux minimaux de compression des joints de confinement sont suffisants pour garantir l'étanchéité du modèle de colis R85, en tenant compte, d'une part du cumul de la déformation rémanente après compression (DRC) des joints, d'autre part des ouvertures des plans de joints constatées dans les simulations

numériques représentatives des CAT. En réponse à cette demande, le requérant a réalisé des essais de chute libre d'une maquette à l'échelle $\frac{1}{4}$ pour lesquels il s'est assuré que le taux de compression minimal sur la maquette à 20 °C soit représentatif de celui à - 40 °C sur le modèle de colis. À l'issue de ces essais, le requérant a vérifié que la maquette conservait son étanchéité. Il a également réalisé des essais d'étanchéité en température permettant d'estimer la DRC et le taux de compression minimal pour lequel l'étanchéité est conservée. Pour cela, il a étudié le vieillissement de joints en EPDM de l'une des deux nuances utilisées sur ce modèle de colis à 150 °C (température maximale d'utilisation en continu garantie par le fabricant). Le requérant a ainsi mesuré régulièrement l'écrasement du joint et l'étanchéité du système pour deux joints pendant respectivement 60 jours et 100 jours. Il en a déduit que le système étudié maintient son étanchéité à des taux de compression plus faibles que celui minimal du modèle de colis R85. L'IRSN estime que ces essais permettent de conforter le maintien de l'étanchéité du colis dans le temps, la température testée étant très supérieure à celle estimée en CNT et après les épreuves représentatives des CAT. L'IRSN note toutefois que le requérant dispose de deux nuances de joints pour équiper son modèle de colis R85. Étant donné les différences de formulation possibles sur les joints EPDM, l'IRSN estime que le requérant pourrait également s'assurer que les résultats constatés sur la nuance testée sont transposables à l'autre nuance. En outre, le nombre de joints testés est limité. **Aussi, l'IRSN estime que les éléments présentés par le requérant ne permettent de répondre que de manière partielle à la demande de l'ASN précitée.**

5. UTILISATION ET MAINTENANCE

En réponse à une demande de l'ASN relative au contrôle des soudures de l'enveloppe de confinement du modèle de colis R85 au cours de son exploitation, le requérant a précisé que ces soudures font l'objet de spécifications et de contrôles rigoureux lors de leur réalisation, qui incluent notamment une inspection visuelle à 100 %, un ressuage à 100 % et des examens radiographiques à 100 %. Ces dispositions sont complétées par un essai d'étanchéité des soudures par détection de gaz traceur, associé à un critère d'acceptation très restrictif. Le requérant estime également que le risque d'apparition de dommages au niveau de l'enveloppe de confinement est exclu, compte tenu des faibles sollicitations en CTR (absence de risque de rupture par fatigue notamment). Enfin, il estime que l'inspection de ces soudures, une fois l'emballage en service, engendrerait de fortes contraintes et des risques pour l'exploitation et les opérateurs, du fait notamment des lourdes opérations de manutention ou des risques radiologiques associés à une intervention à l'intérieur de la cavité de l'emballage. À cet égard, il a amendé le chapitre relatif à la maintenance de l'emballage afin de clarifier l'exclusion du contrôle de ces soudures. Néanmoins, l'analyse réalisée par le requérant des modes de défaillance, des effets et de leur criticité (AMDEC), relative aux soudures de l'enveloppe de confinement, montre que leur apparition est possible et que ce défaut est détectable en maintenance, ce qui n'est pas cohérent avec l'argumentaire précité. **Aussi, l'IRSN estime que le requérant pourrait mettre à jour l'étude pour inclure les éléments présentés lors de la présente expertise. Les éléments présentés par le requérant ne permettent donc formellement pas de répondre à la demande de l'ASN.**

Par ailleurs, l'IRSN estime que les réponses apportées par le requérant aux autres demandes de l'ASN relatives à l'utilisation et à la maintenance du modèle de colis R85 sont satisfaisantes.

6. FABRICATION

Afin de répondre à l'un de ses engagements et à une demande de l'ASN, le requérant a mis à jour les spécifications relatives à la fabrication des capots des emballages R85 afin d'inclure les exigences de vérification des propriétés mécaniques des bois qui le constituent. Ces spécifications additionnelles complètent les contrôles déjà requis concernant les essences, les densités et l'humidité des bois approvisionnés. **L'IRSN estime que ceci permet de répondre de manière satisfaisante à cette demande et à cet engagement.**

7. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés et en tenant compte des informations transmises par la société ROBATEL Industries au cours de l'expertise, l'IRSN considère que le modèle de colis R85, tel que défini dans le projet de certificat d'agrément, est conforme aux prescriptions de l'édition 2018 du règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA cité en seconde référence applicables au modèle de colis de type B(U).

L'IRSN souligne que le requérant a apporté, dans le cadre de la présente demande d'agrément et au cours de l'expertise, des améliorations significatives à la démonstration de sûreté du modèle de colis R85. À cet égard, l'IRSN estime que le requérant a répondu de manière satisfaisante à un nombre important de demandes de l'ASN. Certaines demandes de l'ASN, relatives notamment à la qualification des simulations numériques utilisées pour évaluer le comportement mécanique du modèle de colis R85 en CAT, restent néanmoins à prendre en compte.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Eric LETANG

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté