

CODEP-DTS-2022-016543

ROBATEL INDUSTRIES

Monsieur le Directeur

12 rue de Genève

CS 80011

69747 GENAS

Montrouge, le 19 août 2022

Objet : Nouveau modèle de colis R85

N° dossier : ATMRC-DTS-2020-0046

Références :

- [1]** Courrier ROBATEL Industries référencé MCh/jgl/103467/N° 20-079 du 4 novembre 2020
- [2]** Courrier ASN référencé CODEP-DTS-2021-018449 du 7 mai 2021
- [3]** Dossier de sûreté ROBATEL R85 PDSR 0001 A, Septembre 2021 : « Modèle de colis type B : R85 – Package design safety report – Révision B »
- [4]** Courrier ROBATEL MCh/jgl/103467/N° 21-052 du 30 septembre 2021 : «Modèle de colis R85 – Suites de la réunion du 27/09/2021 : éléments complémentaires »
- [5]** Courrier ROBATEL MCh/jgl/103467/N° 21-071 du 3 décembre 2021 : «Modèle de colis R85 – Éléments complémentaires »
- [6]** Avis et recommandations du groupe permanent d'experts référencé CODEP-MEA-2022-024195 du 11 avril 2022
- [7]** Courrier ROBATEL Industries référencé MCh/jgl/103467/N° 22-005 du 9 février 2022
- [8]** Accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR)
- [9]** Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID)
- [10]** Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigation intérieures (ADN)
- [11]** Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (dit « arrêté TMD »)

Monsieur le Directeur,

En application de l'article R. 595-1 du code l'environnement, vous avez transmis à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), par lettre citée en référence [1], une demande d'agrément d'un nouveau modèle de colis, appelé R85. Ce nouveau modèle de colis, de type B(U), est destiné au transport terrestre (route, rail ou voies fluviales) d'au plus vingt-et-un tubes guides de grappes irradiés et contaminés issus de centrales nucléaires.

*

* *



Description succincte de l'emballage

Le modèle de colis R85 est constitué d'un emballage accueillant dans sa cavité un panier de vingt-et-un logements pouvant contenir chacun un tube guide de grappes.

Le corps de l'emballage, de forme cylindrique, est composé d'une enveloppe interne et d'une enveloppe externe, en acier inoxydable, entre lesquelles sont placées des viroles en acier inoxydables complétant la protection radiologique et du « compound » dédié à la protection thermique. Il est équipé, à chacune de ses extrémités, de capots de protection constitués par des enveloppes étanches en acier inoxydable dans lesquelles sont disposés des blocs de bois et du « compound ».

L'enveloppe de confinement de l'emballage est délimitée par l'enveloppe interne qui est fermée par un couvercle en acier inoxydable. Ce couvercle est équipé de joints d'étanchéité en élastomère et d'un orifice d'accès à la cavité couvert, en transport, par une tpe de fermeture munie de joint d'étanchéité également en élastomère.

Éléments justifiant la sûreté du modèle de colis et leur instruction

Votre demande d'agrément est appuyée par le dossier de sûreté du modèle de colis, en référence [4], complété par vos courriers en références [4] et [5] relatifs respectivement à la qualification du mode opératoire de soudage de l'un des procédés de soudage envisagé pour la fabrication de la virole interne et des éléments de parangonnage. Je souligne que vos analyses du comportement mécanique du modèle de colis R85 lors des épreuves réglementaires de chute simulant les conditions accidentelles de transport s'appuient uniquement sur des simulations numériques du modèle de colis.

À la demande de l'ASN [3], le groupe permanent d'experts pour les transports (GPT) s'est réuni le 30 mars 2022 afin d'examiner la conformité de ce modèle de colis aux textes réglementaires en références [4] à [8], notamment en portant une attention particulière à la validité de la démonstration numérique de la résistance du colis aux épreuves normalisées réglementaires. Le GPT a notamment examiné, sur la base d'un rapport d'expertise préparé par l'Institut de radioprotection et de sûreté (IRSN), la sûreté du modèle de colis au regard des exigences du règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA (norme de sûreté n° SSR-6 – édition de 2018 – révision 1). Il a rendu son avis par la lettre en référence [6].

Au cours de l'instruction, préalablement à la réunion du GPT, vous vous êtes engagés, par courrier en référence [7] à :

- mettre à jour, avant fin mai 2022, les spécifications figurant dans le dossier de sûreté [4] relatives à la fabrication des capots de l'emballages R85 pour y inclure un contrôle de la conformité des propriétés mécaniques des bois qui le constituent sur des échantillons de bois prélevés lors de la fabrication des capots des exemplaires d'emballage ;
- réaliser, d'ici fin 2022, des essais de chutes à l'aide d'une maquette physique représentative du modèle de colis à échelle ¼. Ces essais ont pour objectif de compléter la qualification du modèle numérique et des modélisations retenues dans le dossier de sûreté ;
- justifier, avant fin mai 2022, la validité de la modélisation des vis de fixation des composants assurant une fonction de sûreté du modèle de colis utilisée dans les simulations numériques des épreuves de chutes ;



- justifier, d'ici fin mai 2022, l'étanchéité du système de fermeture de l'emballage à l'issue des épreuves réglementaires et la validité de sa modélisation ;
- étayer, d'ici fin mai 2022, les démonstrations de sûreté en vous appuyant sur une comparaison des comportements mécaniques de la virole interne vis-à-vis des phénomènes de perforation réels et simulés.

Sauf erreur de ma part, vous ne m'avez pas encore transmis les éléments ci-dessus ayant pour échéance d'envoi mai 2022.

*

* *

De l'instruction technique menée, je retiens les conclusions suivantes.

Conditions de transport de routine et conditions normales de transport

Il ressort de l'examen de votre demande que **le modèle de colis R85 est conforme aux prescriptions réglementaires relatives aux conditions de transport de routine (CTR) et aux conditions normales de transport (CNT).**

Conditions accidentelles de transport

En revanche, pour ce qui concerne les conditions accidentelles de transport (CAT), pour lesquelles vous ne retenez pas de critère quantitatif relatif à l'étanchéité du système de fermeture du colis, vous justifiez le respect des critères réglementaires en faisant reposer notamment votre démonstration de sûreté sur les caractéristiques du contenu du colis et sur son comportement en conditions accidentelles de transport. En effet, pour le chargement complet, l'activité du contenu est limitée à 39,9 A₂, dont 15,6 A₂ de contamination avec au maximum 3,12 A₂ de contamination non fixée. Vous estimez donc que ce modèle de colis est relativement proche d'un colis de type A, pour lequel les conséquences dans l'hypothèse d'un endommagement important, libérant les substances transportées, restent limitées. Pour autant, ce contenu répond aux caractéristiques d'un colis de type B et ce sont donc les critères fixés pour un colis de type B qui sont applicables. Or, la sûreté d'un colis de type B repose avant tout sur la conception de l'emballage et sa résistance aux épreuves réglementaires.

En outre, le maintien de l'étanchéité du colis, au niveau de sa virole interne, à l'issue de l'épreuve réglementaire de chute sur poinçon n'est pas justifiée, la démonstration numérique retenue pour la démonstration de sûreté n'étant pas probante en l'absence de qualification du modèle numérique et au vu de lacunes dans la modélisation du colis. Ainsi, l'ASN estime que l'absence de perforation de l'enveloppe de confinement lors d'une chute sur poinçon avec impact au niveau du corps de l'emballage n'est pas acquise. **Le respect de l'ensemble des exigences réglementaires des CAT n'est donc pas démontré à ce jour et l'ASN conclut que le modèle de colis ne peut donc être, en l'état de sa démonstration de sûreté, agréé par l'ASN.**

Les demandes figurant en annexe au présent courrier explicitent les insuffisances de la démonstration de sûreté de ce modèle de colis.



Dans le cas où vous souhaiteriez déposer une nouvelle demande d'agrément de type B(U), vous devrez transmettre à l'ASN un nouveau dossier de sûreté autoportant, étayé et justifié, en répondant notamment de façon satisfaisante aux demandes formulées en annexe de la présente lettre, ainsi qu'aux engagements pris dans le courrier cité en référence [7].

Par ailleurs, le nouveau dossier de sûreté devra intégrer les démonstrations complémentaires transmises au cours de l'instruction ayant impliqué le GPT.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de ma considération distinguée.

Pour le Président de l'ASN et par délégation,
le directeur général adjoint,

Pierre BOIS

Demandes à prendre en compte dans le cadre d'une nouvelle demande d'agrément initial en tant que colis de type B

1. Comportement mécanique

1.1. Conditions de transport de routine (CTR)

1.1.1. Assemblages vissés

Dans votre dossier de sûreté, vous présentez l'analyse de l'état de précontrainte des assemblages vissés participant directement ou indirectement à une fonction de sûreté tels que :

- les vis de fixation du couvercle et des tapes du système de fermeture,
- les vis de fixation verticales des capots et les vis de fixation des pions de blocage des capots, et
- les vis de fixation des tourillons avant et arrière.

Vous estimez que les valeurs de coefficient de frottement retenues dans les calculs sont appropriées au type de graissage des vis utilisé. Or, le coefficient de frottement des filets et sous tête de vis ne dépend pas uniquement du type de graissage utilisé, les dimensions et de l'état de surface des vis sont également à considérer. En outre, ces coefficients sont susceptibles de varier significativement avec des cycles de serrage et desserrage des vis. Ainsi, une augmentation du coefficient de frottement conduit à une diminution de l'effort de serrage des vis, qui est un paramètre de sûreté particulièrement important pour les vis de fixation du système de fermeture de la cavité et qui peut avoir une influence sur le niveau d'étanchéité de l'enveloppe de confinement. À l'inverse, une diminution du coefficient de frottement conduit à une augmentation de l'effort et, par conséquent, de la précontrainte dans les vis. Pour certaines vis du modèle de colis (par exemple, les vis du couvercle et les vis de fixation des pions de blocage), la contrainte maximale due au serrage présente peu de marge par rapport au critère admissible.

D1 – Je vous demande de justifier, pour les assemblages vissés participant à une fonction de sûreté du modèle de colis R85, le choix des coefficient de frottement et les incertitudes associées retenus sur les filets et sous tête des vis en tenant compte des propriétés du lubrifiant utilisé, de la taille et de l'état de surface des vis, ainsi que des cycles de serrage et de desserrage des assemblages vissés.

En outre, vous précisez que le taraudage des assemblages vissés est équipé de filets rapportés en acier inoxydable qui permettent d'améliorer la qualité, la résistance et la tenue dans le temps des assemblages. Les moyens que vous mettez en œuvre correspondent à l'état de l'art du dimensionnement des éléments vissés. Cependant, ceux-ci ne permettent pas d'exclure le risque d'auto-desserrage des vis, notamment au regard des sollicitations externes cycliques rencontrée en CTR, telles que les vibrations et les cycles de variations de températures ambiantes.

D2 – Je vous demande de justifier l’absence d’auto-desserrage des vis du modèle de colis R85 au regard des différents phénomènes susceptibles d’être rencontrés en conditions de transport de routine.

1.1.2. Tenue mécanique des organes de manutention et d’arrimage

Pour les opérations de manutention et d’arrimage, l’emballage dispose de deux paires de tourillons (avant et arrière) en acier inoxydable. Pendant son transport, l’emballage sera arrimé via un châssis de transport dédié dans lequel il repose au niveau de ses deux tourillons arrière et d’un arceau hémicylindrique côté avant. Sangles et bridages des tourillons arrière compléteront son maintien dans toutes les directions.

1.1.2.1. Interfaces avec le moyen de transport

De manière générale, les démonstrations de la tenue mécanique des organes d’arrimage et de manutention du modèle de colis R85 font intervenir plusieurs hypothèses concernant les caractéristiques de composants externes n’appartenant pas au modèle de colis mais participant à la sûreté des transport, tels que le châssis de transport ou les sangles. En cas de déformation des supports de châssis ou d’arrachement des sangles, la sûreté du transport pourrait être remise en cause. Pour se prémunir de ce risque, les adjonctions d’arrimage et de manutention sont dimensionnées selon les efforts calculés dans les démonstrations de sûreté en tenant compte de coefficients de sûreté couvrant le levage à l’arraché et à la dépose brutale. Or, le chapitre du dossier de sûreté relatif aux instructions d’utilisation de l’emballage ne mentionne pas l’ensemble des précautions à prendre sur le dimensionnement du châssis et des éléments d’interface de l’arrimage et de manutention du modèle de colis R85.

D3 – Afin de se prémunir du risque d’arrachement ou de déformation des supports de châssis, je vous demande de compléter les instructions d’utilisation relatives à l’arrimage et à la manutention du modèle de colis R85 avec des spécifications de dimensionnement des adjonctions, en accord avec les hypothèses retenues dans les démonstrations de sûreté pour toutes les configurations envisagées.

1.1.2.2. Tenue mécanique des organes de manutention et d’arrimage à la sollicitation maximale

Vous n’avez pas présenté de justification relative au caractère conservatif ou représentatif de la surface de répartition des efforts au niveau des tourillons lors du levage ou dus à l’arrimage du colis. En outre, l’hypothèse de surface de répartition des efforts sur un demi-cylindre n’est pas conservative.

D4 – Je vous demande de revoir votre étude en veillant à justifier le caractère conservatif de la répartition des surfaces d’appui des tourillons retenue pour évaluer leur comportement mécanique au regard des caractéristiques réelles des supports qui seront utilisés lors des opérations d’arrimage et de manutention du modèle de colis R85.

1.1.2.3. Tenue mécanique des organes de manutention et d'arrimage en fatigue

L'analyse de fatigue considère des valeurs de contrainte moyenne (σ_m) et une amplitude de contrainte (σ_a) pour les tourillons et les brides. Afin de s'assurer de l'absence de rupture par fatigue, vous devez vérifier que ces deux contraintes respectent chacune un critère donné :

- $\sigma_a + \sigma_m \leq R_e$ avec R_e la limite d'élasticité ;
- $\sigma_a \leq \sigma_D$ avec σ_D la limite d'endurance corrigée pour prendre en compte la contrainte moyenne σ_m .

La limite d'endurance σ_D est obtenue sur la base de la limite d'endurance de l'acier corrigée afin de tenir compte du fait que la contrainte moyenne dans les tourillons et les brides n'est pas nulle. Cette correction est faite à l'aide du diagramme de Haigh qui définit la zone d'absence de risque de rupture par fatigue en fonction de l'amplitude de variation de contrainte σ_a et la contrainte moyenne σ_m pour un nombre de cycles de rupture donné. La limite que vous reprenez pour déterminer la limite d'endurance corrigée σ_D est celle de la parabole de Gerber.

Sans essai préalable sur l'acier considéré, le diagramme de Haigh, associé aux limites définies par la parabole Gerber, n'est pas enveloppe pour tous les cas de figure. De fait, le diagramme de Haigh peut être associé à d'autres critères plus restrictifs tels que les droites de Goodman et Soderberg, critères que vous utilisez déjà pour d'autres modèles de colis. En outre, le nombre de cycles de sollicitation n'est pas justifié au regard des nombres de cycles de sollicitation subis par les tourillons durant la durée d'utilisation de l'emballage (chargé ou non).

D5 – Je vous demande de justifier l'applicabilité de la méthode que vous avez retenue, fondée sur le diagramme de Haigh, pour justifier la tenue en fatigue des organes d'arrimage et de manutention du modèle de colis R85.

1.2. Conditions accidentelles de transport (CAT)

L'analyse du comportement mécanique du modèle de colis R85 lors des épreuves de chute représentatives des CAT est étudiée uniquement par des simulations numériques en dynamique rapide à l'aide du code de calcul aux éléments finis LS-DYNA. Cette analyse n'est, à ce jour, pas confortée par une approche expérimentale s'appuyant sur la réalisation d'essais de chute (colis complet ou sous-systèmes) ou sur des similitudes avec d'autres modèles de colis déjà agréés ayant fait l'objet d'essais de chute.

1.2.1. Chute libre d'une hauteur de 9 m

En ce qui concerne le comportement des capots, vous indiquez que les caractéristiques mécaniques du bois sont issues de votre retour d'expérience. Ce retour d'expérience concerne plusieurs essences de bois, avec des densités et taux d'humidité variables. Les essais de compression, mesurant la contrainte d'écrasement en fonction de la déformation quasi-statique, ont été effectués selon différentes orientations des fibres et à différentes températures. À partir des résultats de ces essais, vous avez déterminé des relations de proportionnalité entre les caractéristiques mécaniques moyennes du bois, sa densité et sa température.

Ces relations de proportionnalité correspondent au comportement « moyen » du bois et ne permettent pas de prendre en compte la dispersion des caractéristiques mécaniques du bois, ce dernier étant un matériau naturel dont les propriétés sont moins maîtrisées que celles de matériaux produits de manière industrielles. En outre, pour les températures de -40 °C et 80 °C , le nombre d'essais d'écrasement réalisés est limité et il existe donc une plus grande incertitude sur les résultats d'essais.

En outre, je note que vous n'avez pas justifié le caractère conservatif des caractéristiques mécaniques du bois des capots utilisées dans les modèles aux éléments finis.

D6 – Il vous appartiendra de mieux tenir compte des incertitudes dans la définition des caractéristiques du bois utilisé dans le modèle de colis R85.

Enfin, vous n'indiquez pas de quelle manière les effets dynamiques de l'écrasement sont pris en compte dans les essais d'écrasement, notamment pour ce qui concerne l'influence de la vitesse d'écrasement du bois et des risques de dislocation induits.

D7 – Je vous demande d'étudier les effets dynamiques de l'écrasement du bois des capots et de vous assurer qu'ils ne sont pas de nature à mettre en cause les conclusions de l'analyse de comportement mécanique du modèle de colis R85 en conditions accidentelles de transport.

1.2.2. Chute sur poinçon d'une hauteur de 1 m

1.2.2.1. Configurations d'études et hypothèses retenues

Les deux configurations de chutes latérale horizontale (CL) et latérale inclinée (CLI) visent à étudier le comportement du corps de l'emballage en cas de poinçonnement (chute d'une hauteur du mètre). Vous avez étudié la configuration CLI afin de vérifier la tenue de la virole externe lors d'une chute sur l'arrête du poinçon qui constitue une zone saillante, conformément aux recommandations du guide de l'AIEA n° SSG-26. Vous avez retenu une inclinaison de 5° par rapport au sol, tout en soulignant qu'une inclinaison plus élevée conduirait à une augmentation trop importante de la longueur du poinçon, ce qui favoriserait son flambage. Or, vous ne considérez pas le fait que la surface d'impact du poinçon diminue avec l'augmentation de l'angle d'inclinaison, ce qui accroît la contrainte induite dans le corps de l'emballage au moment de l'impact. Il n'est donc pas établi que l'angle retenu conduit au dommage maximal.

D8 – Je vous demande de justifier que l'inclinaison du modèle de colis R85 retenue pour l'épreuve de chute d'une hauteur d'un mètre sur poinçon est celle conduisant à des dommages maximaux sur l'emballage.

1.2.2.2. Critère d'érosion pour les viroles

La rupture de certains composants est modélisée par « érosion » lorsque ces composants sont en contact. Des critères d'érosion sont définis pour les matériaux de ces composants et, lorsqu'ils sont atteints au sein d'un élément, ce dernier est « supprimé » de la modélisation. Le critère d'érosion pris en compte pour les viroles interne et externe est la déformation plastique équivalente à la rupture du

métal. Vous avez donc déterminé la valeur de déformation plastique équivalente à la rupture du métal à partir d'essais de traction.

Or, la déformation à la rupture des aciers est un phénomène complexe. La rupture par poinçonnement engendre un chargement local combinant traction et cisaillement alors que la valeur limite que vous retenir pour le critère d'érosion des aciers est obtenue sur la seule base d'essais de traction. Le critère d'érosion devrait faire l'objet d'une validation à partir d'essais réalisés dans des conditions de sollicitations représentatives de celles subies par les viroles lors de la chute sur poinçon.

En effet, je remarque que la valeur limite du critère d'érosion a une influence sur la rupture et sur les dommages générés au sein des viroles. Par exemple, une analyse de sensibilité réalisée au cours de l'instruction montre qu'une variation de la valeur du critère (déformation plastique à rupture) dans des proportions réalistes conduit à une rupture différée de la virole externe et induit une diminution du niveau de plastification dans la virole interne dans les conditions de chute.

D9 – Je vous demande de justifier la représentativité physique des critères d'érosion retenus pour modéliser la rupture des aciers dans les études numériques du comportement du modèle de colis R85 lors de la chute d'une hauteur d'un mètre sur poinçon.

1.2.2.3. Modélisation du comportement avant rupture et de l'érosion du « compound »

Dans les analyses de chute sur poinçon, vous valorisez la présence du « compound » alors qu'il est en premier lieu utilisé à des fins de protection thermique. Si cette valorisation est acceptable sur le principe, elle implique de disposer d'une caractérisation des propriétés mécaniques du « compound ».

Pour la modélisation du comportement du « compound », vous utilisez un modèle matériau du code LS-DYNA. Dans le modèle numérique du colis, une option permet de définir le comportement mécanique du matériau à partir de sa résistance en compression. Cette option s'applique d'ordinaire à des bétons dont la résistance en compression varie entre 20 et 58 MPa. Or la résistance en compression du « compound » est de 18 MPa.

En outre, vous n'avez pas justifié le choix de ce modèle matériau alors que de nombreux modèles sont disponibles dans la librairie LS-DYNA pour simuler le comportement du béton¹. L'applicabilité de ce modèle matériau au « compound » doit donc faire l'objet d'une validation.

En outre, lors de l'instruction, vous n'avez donné de justification ni sur les critères d'érosion retenus, ni sur la valeur limite du critère pour la modélisation de l'érosion du « compound ».

De vos calculs, vous concluez que la part d'énergie absorbée par le « compound » lors de la chute latérale est de 15 % de l'énergie totale absorbée, ce qui constitue une part non négligeable. Aussi, de manière pénalisante, en supposant la perte par érosion du « compound » dès le début de l'impact, les résultats montrent que la modification du critère d'érosion de 10 % a pour conséquence une diminution

¹ Ce modèle matériau choisi a été développé à l'origine par le département des transports américains dans le but de calculer le comportement des barrières d'autoroute soumises à un crash de voiture.



de la part d'énergie absorbée par le « compound » et une augmentation de la plastification de la virole interne, qui peut d'ailleurs atteindre l'érosion pour certains éléments.

Les hypothèses de modélisation du comportement du « compound » ont une influence notable sur la réponse locale du corps de l'emballage lors d'une chute sur poinçon. Le comportement mécanique (avant rupture) et la résistance à la rupture de ce « compound » n'ont pas fait l'objet de caractérisations physiques suffisantes. À cet égard, vous n'abordez pas le cas où le « compound » pourrait être endommagé, notamment par rupture brutale, à la suite de la chute de 9 m et présenterait des capacités d'absorption d'énergie fortement diminuées lors de la chute de 1 m.

D10 – Je vous demande de justifier, pour ce qui concerne les études numériques du comportement du modèle de colis R85 lors de la chute d'une hauteur de 1 m sur poinçon :

- **le modèle de comportement retenu pour le « compound » ;**
- **la représentativité physique des critères d'érosion retenus pour modéliser la rupture du « compound ».**

1.2.2.4. Taille de maille

Vous avez localement raffiné le maillage des pièces au droit du poinçon. Dans le cas de la chute latérale, la taille de maille a été divisée par deux dans les directions circonférentielle et axiale des viroles d'acier et du « compound », la taille de maille n'ayant pas évolué dans l'épaisseur. Le choix de cette taille de maille n'a pas été justifié.

Sachant que les phénomènes de rupture sont des phénomènes locaux, la modélisation de la rupture via l'utilisation de critère d'érosion est, par construction, dépendante de la taille de la maille et doit donc faire l'objet d'une calibration telle que préconisée par le guide de modélisation LS-DYNA.

D11 – Je vous demande de justifier le niveau de raffinement du maillage des zones impactées par le poinçon dans les simulations numériques relatives au comportement mécanique du modèle de colis R85.

1.2.2.5. Interaction de la virole interne avec les structures internes

Vous considérez que la virole interne est libre de se déformer radialement vers l'intérieur de la cavité, donc qu'il n'y a aucun contact entre la virole interne et les structures internes. Or, d'après les résultats de vos calculs, le déplacement de la virole interne au droit de la zone d'impact peut atteindre 350 mm dans le sens radial. Selon le point d'impact, ce déplacement ne permet pas d'exclure l'absence d'interaction avec les structures internes, ce qui pourrait modifier la répartition des efforts et le type de contrainte subie par la virole interne et pourrait accentuer sa déformation au droit de l'impact du poinçon.

D12 – Je vous demande de justifier le caractère pénalisant de la modélisation retenue pour ce qui concerne l'endommagement de la virole interne du modèle de colis R85, en prenant en compte la proximité des structures internes et de leurs singularités géométriques.

En outre, les modèles aux éléments finis utilisés pour étudier le comportement mécanique du modèle de colis R85 en chute sur poinçon d'une hauteur de 1 m ne prennent pas en compte la présence des zones soudées (créées lors de la fabrication de la virole interne du corps de l'emballage). Les zones soudées sont des zones singulières qui présentent des caractéristiques mécaniques différentes de celles du matériau de base des viroles : elles possèdent des limites d'élasticité et des contraintes à la rupture en général supérieures à celles du matériau d'apport et des pièces soudées, ce qui en fait des zones plus rigides. Toutefois, d'une part l'allongement à la rupture peut devenir inférieur à celle des pièces sollicitées, ce qui réduit les capacités d'absorption d'énergie de la soudure, d'autre part, localement au niveau de la zone thermiquement affectée, les caractéristiques mécaniques sont en général inférieures aux pièces sollicitées, ce qui peut créer des zones sensibles au risque de cisaillement ou de perforation. Les endommagements induits par le poinçon étant locaux, la présence de zones de caractéristiques mécaniques hétérogènes dans la virole ne peut pas être négligée et leur comportement mécanique en cas de poinçonnement devrait être étudié.

Même si, au cours de l'instruction, vous avez transmis la qualification du mode opératoire de soudure de l'un des procédés de soudage envisagé pour la fabrication de la virole interne, les documents transmis ne comportent pas toutes les caractéristiques mécaniques nécessaires pour apprécier la capacité d'absorption de la soudure.

D13 – Je vous demande d'étudier le comportement mécanique des zones soudées (soudures et zones thermiquement affectées) de la virole interne lors de la chute d'une hauteur de 1 m sur poinçon du modèle de colis R85. Dans ce but, vous caractériserez les propriétés mécaniques des zones soudées de l'enveloppe de confinement selon les modes opératoires de soudage qui seront mis en œuvre.

1.2.3. Séquences cumulant une chute de 9 m et une chute sur poinçon

Pour la séquence consistant en la chute de 9 m suivie de la chute sur poinçon, vous estimez que le volume de bois du capot potentiellement endommagé par le poinçon est faible au regard du volume utile de bois des capots participant à l'amortissement du colis lors d'une chute de 9 m. Par conséquent, vous estimez que les endommagements du capot induits par le poinçon ne sont pas de nature à modifier de manière significative le comportement du modèle de colis R85 lors de la chute de 9 m. Or, vous n'avez pas justifié l'absence de dégradation du taux de fuite du modèle de colis à l'issue des épreuves de chutes en CAT.

Pour la séquence relative à la chute sur poinçon suivie de la chute de 9 m, vous estimez que le caractère conservatif des hypothèses prises en compte dans les modèles aux éléments finis permet de couvrir les conséquences des chutes de 9 m. Or, vous n'avez pas tenu compte de l'écrasement du bois à l'issue de la chute de 9 m dans l'évaluation de la longueur du poinçon pour la chute latérale.

Dans les analyses de sûreté du modèle de colis en CAT, vous devez prendre en compte le cumul des dommages du colis à l'issue des différentes chutes, en particulier ceux de nature à affecter le maintien du confinement du modèle de colis.

D14 – Je vous demande de justifier, en tenant compte du cumul des déformations du colis à l'issue des épreuves de chute libre d'une hauteur de 9 m et de chute d'une hauteur de 1 m sur poinçon (quel



que soit l'ordre des deux chutes), que le niveau d'étanchéité de l'enveloppe de confinement du modèle de colis R85 en conditions accidentelles de transport est suffisant.

2. Comportement thermique

Vous évaluez la résistance du modèle de colis R85 à un incendie de 800°C pendant 30 minutes en étudiant le comportement thermique du modèles de colis, notamment en comparant les températures atteintes par différents composants avec les critères de tenue à la température de ces composants.

La modélisation de la combustion du bois du capot appelle les remarques suivantes :

- la validation du code de calcul, notamment pour ce qui concerne la gestion de suppression et de déplacement des surfaces d'échange, est insuffisante ;
- les hypothèses retenues sont à justifier ;
- le modèle de calcul ne permet pas de tenir compte des phénomènes de circulation des gaz chauds produits par la combustion alors qu'ils peuvent avoir une influence sur la température des composants du colis, notamment les joints en élastomères.

De ce fait, les conséquences de la combustion du bois du capot pourraient être différentes de celles présentées dans votre dossier.

D15 – Je vous demande de justifier la pertinence de la modélisation retenue pour étudier le phénomène de combustion du bois des capots du modèle de colis R85.

3. Confinement

3.1. Comportement des soudures

Vous ne précisez pas la durée d'exploitation maximale envisagée de l'emballage. Vous ne prévoyez qu'un seul contrôle d'étanchéité des soudures de l'enveloppe de confinement pour toute la durée de vie de l'emballage, sans en justifier le caractère suffisant, notamment au regard du vieillissement de l'emballage, des éventuelles règles de contrôle périodique définies par le code de l'ASME que vous retenez pour la conception du modèle de colis, et au titre de la défense en profondeur. Or, vous prévoyez de tels contrôles pour d'autres modèles de colis développés par votre société. En outre, ces autres modèles de colis présentent les orifices et espaces appropriés pour les contrôles de soudure, ce qui n'est pas le cas pour le modèle de colis R85.

Enfin, dans la partie de votre dossier de sûreté relative aux soudures de l'enveloppe de confinement, vous avez analysé les modes de défaillance, des effets et de leur criticité en précisant une fréquence d'apparition des défauts. L'absence de contrôle en maintenance n'est pas cohérente avec cette analyse.

D16 – Je vous demande soit de revoir la fréquence de contrôle des soudures de l'enveloppe de confinement du modèles R85 au cours de son exploitation, soit de justifier l'absence de tels contrôles des soudures de lors des opérations de contrôle périodique en maintenance.

3.2. Comportement des joints

Le dimensionnement des joints du couvercle et de la tôle, se fondant sur leurs taux de remplissage maximal dans les gorges et leurs taux de compression minimal, est évalué en prenant en compte :

- des coefficients de dilatation linéique ;
- les tolérances dimensionnelles des composants qui maximisent le taux de remplissage de la gorge ;
- une plage de température enveloppe ;
- une déformation rémanente de compression (DRC) maximale des joints de 20 %.

D'après vos calculs, en tenant compte des ouvertures résiduelles des plans des joints de confinement à l'issue des chutes en CAT, vous obtenez un taux minimal de compression de joint de 13,55 % et de 12,95 % respectivement pour le joint de confinement du couvercle et pour celui de la tôle. Vous estimez que ces taux de compression sont faibles et ne sont pas de nature à mettre en cause l'étanchéité du colis.

Usuellement, en l'absence de justification particulière, afin de garantir un bon niveau d'étanchéité des joints de confinement, un taux minimal de compression de 15 % pour les joints en élastomère est retenu. Or, vos conclusions ne se fondent sur aucun essai qui permettrait de déterminer le taux de compression en-deçà duquel il existe une variation significative du taux de fuite au niveau du joint.

D17 – Je vous demande 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 du cumul de la déformation rémanente de compression des joints et des ouvertures des plans de joints à l'issue des épreuves de chute représentatives des conditions accidentelles de transport.

3.3. Relâchement d'activité du modèle de colis

Pour caractériser l'aptitude d'un colis de type B à assurer le confinement des substances radioactives qu'il contient, la réglementation fixe les critères suivants :

- un relâchement d'activité inférieur ou égal à 10^{-6} A₂ par heure en CNT ;
- un relâchement d'activité cumulé sur une semaine inférieur ou égal à 1 A₂ en CAT.

3.3.1. Conditions normales de transport (CNT)

Pour les CNT, vous déterminez le taux de fuite normalisé maximal admissible de l'enveloppe de confinement du modèle de colis R85 en tenant compte de plusieurs hypothèses (volume minimal d'air dans la cavité, température maximale de la cavité, pression interne maximale...) qui sont globalement acceptables, excepté la valeur retenue (10%) comme hypothèse de la fraction de contamination non fixée qui pourrait être remise en suspension dans la cavité de l'emballage en CNT. En effet, vous n'avez pas justifié que cette hypothèse est conservative.

D18 – Je vous demande de justifier le caractère conservatif de la fraction de contamination non fixée qui pourrait être mise en suspension dans la cavité du modèle de colis R85 en conditions normales de transport.

3.3.2. Conditions accidentelles de transport (CAT)

Pour les conditions accidentelles de transport, vous présentez plusieurs justifications visant à démontrer que, indépendamment du niveau d'étanchéité du colis, le relâchement d'activité en dehors de l'emballage ne peut être supérieur à $1 A_2$:

- en considérant une fraction de remise en suspension de 30 % de la contamination non fixée en CAT, vous estimez que l'activité maximale de l'air dans la cavité est égale à $0,94 A_2$;
- la pression interne dans la cavité de l'emballage étant inférieure à la pression atmosphérique vous estimez qu'il n'y a pas de risque de relâchement hors de la cavité de l'emballage ;
- en supposant une absence totale d'étanchéité de l'enveloppe de confinement et une baisse de la pression externe jusqu'à 0,6 bar, l'activité totale qui pourrait être relâchée en raison de la surpression interne serait au maximum de $0,31 A_2$.

Tout comme en CNT (voir 3.3.1 ci-dessus), vous n'avez pas justifié le caractère conservatif de la fraction (30%) de remise en suspension de la contamination non fixée. À cet égard, je remarque que, pour un autre de vos modèle de colis destiné au transport de cinq tubes guides de grappes de même type que pour le modèle de colis R85, vous avez considéré une fraction de mise en suspension de la contamination non fixée des tubes guides de grappes de 100 % en CAT.

D19 – Je vous demande de justifier le caractère enveloppe de la fraction de contamination non fixée des tubes guides de grappes mise en suspension dans la cavité du modèle de colis R85 en conditions accidentelles de transport.

Enfin, votre démonstration ne permet pas, à ce jour, d'exclure une éventuelle perforation du corps de l'emballage à l'issue de l'épreuve de chute sur poinçon (voir 1.2.2 ci-dessus). Une telle perforation remettrait en cause les études de sûreté justifiant le respect des critères réglementaires de relâchement d'activité en conditions accidentelles de transport...

4. Maintenance

Les principes régissant les critères de remplacement et de réparation des composants du colis, qui seront ensuite déclinés dans les procédures opérationnelles, ne sont pas définis. Ces critères sont par ailleurs utiles pour alimenter le retour d'expérience lié à l'utilisation et à la maintenance des emballages R85, tel que demandé dans le guide n° 7 de l'ASN pour les renouvellements d'agrément du modèle de colis.

D20 – Je vous demande de compléter le programme de maintenance du modèle de colis R85 en précisant les critères, ou à défaut les principes régissant ces critères, de remplacement et de réparation des composants du colis.

Par ailleurs, vous déterminer un critère de décontamination de la cavité ou du panier reposant sur la mesure de débit d'équivalent de dose (DED) au contact des surfaces externes de l'emballage vide, sans justifier la pertinence de ce critère au regard, d'une part de l'hétérogénéité des épaisseurs de protection radiologiques, d'autre part de la quantité de matière radioactive prise en compte dans les études de relâchement d'activité.



D21 – Je vous demande de justifier la pertinence du critère de détermination de la cavité ou du panier reposant sur la mesure de DED au contact des surfaces externes de l’emballage R85 vide.

✍