

Fontenay-aux-Roses, le 5 mai 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

Avis IRSN/2017-00154

Objet : Transport - Prorogation d'agrément du modèle de colis MARIANNE

- Réf.
1. Lettre ASN - CODEP-DTS-2016-014629 du 11 avril 2016.
 2. Règlement de transport de l'AIEA - SSR-6 édition de 2012.
 3. Compte rendu de réunion AIEA - TRANSSC 31 de novembre 2015.

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) demande l'avis et les observations de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la demande de prorogation d'agrément présentée par la société Mallinckrodt France, dénommée ci-après le requérant, pour le modèle de colis MARIANNE en tant que colis de type B(U) chargé de matières fissiles.

Cette demande concerne l'agrément de l'emballage MARIANNE pour le transport par voie routière de « cibles », constituées de petites plaques en alliage d'uranium et d'aluminium placées dans une gaine en aluminium, entre des réacteurs expérimentaux où elles sont irradiées et une usine où le molybdène 99 en est extrait. Le molybdène 99 sert à la fabrication de générateurs de technétium 99m, utilisé en imagerie médicale. En 2012, la Belgique, la France, les Pays-Bas et les États-Unis ont décidé d'utiliser des cibles composées d'uranium faiblement enrichi en uranium 235 (environ 20 %) alors que précédemment seules des cibles hautement enrichi (environ 90 %) étaient utilisées. Aussi, le requérant demande le renouvellement du certificat d'agrément du colis MARIANNE chargé de cibles hautement enrichi en uranium 235 (dénommé contenu n°1), qui a expiré le 31 mars 2014, et l'extension du certificat du colis chargé de cibles faiblement enrichi en uranium 235 (dénommé contenu n°4).

Adresse Courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France

Le dossier de sûreté transmis à l'appui de cette demande a été complété pour tenir compte du contenu n°4 et des demandes formulées par l'ASN à la suite de la précédente expertise de l'IRSN, qui a fait l'objet d'un avis en 2014, relative à la demande de prorogation d'agrément du colis MARIANNE avec le contenu n°1.

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

Les justifications de sûreté présentées par le requérant dans le dossier de sûreté ont été expertisées par l'IRSN par rapport au règlement cité en deuxième référence. De cette expertise, il ressort les principaux points ci-après.

1 DESCRIPTION DE L'EMBALLAGE

L'emballage MARIANNE est constitué d'un corps cylindrique en acier et en plomb, et de deux capots amortisseurs fixés à ses extrémités. Il mesure environ 2 m de long et pèse moins de 10 tonnes. Le requérant a modifié les capots amortisseurs et leurs vis de fixation afin d'améliorer le comportement mécanique du colis en cas de chute. Ces modifications augmentent la masse du colis de près d'une tonne.

L'IRSN estime que certaines caractéristiques mécaniques des matériaux constitutifs du modèle de colis (plomb et plâtre notamment) nécessiteraient d'être mentionnées dans le dossier de sûreté. **Ceci fait l'objet des observations 1.A.a et 1.A.b présentées en annexe 2 au présent avis.**

2 COMPORTEMENT MECANIQUE

2.1 Arrimage et manutention du colis

Le requérant a mis à jour les justifications de la tenue mécanique des organes d'arrimage et de manutention en tenant compte de la nouvelle masse maximale du colis et des combinaisons d'accélération maximales à considérer proposées par le groupe de travail international chargé d'élaborer le projet de révision de l'appendice IV du guide d'application du règlement de transport de l'AIEA cité en troisième référence. De plus, il a évalué les contraintes dans les pieds de l'emballage lors d'une dépose brutale, qui tient compte de la vitesse des ponts de manutention utilisés pour manutentionner le colis. Cette évaluation a conduit le requérant à spécifier la vitesse des ponts à ne pas dépasser pour manutentionner le colis, afin d'éviter des déformations plastiques dans les pieds de l'assemblage. Enfin, le requérant a complété le dossier de sûreté par une étude de tenue à la fatigue des pieds de l'emballage et des organes de manutention, basée sur la limite d'endurance des matériaux de ces organes. **Les éléments de justification présentés par le requérant sont satisfaisants. Toutefois, l'IRSN estime que l'exploitant devrait tenir compte de l'observation 2.A.a formulée en annexe 2, qui vise à compléter le dossier de sûreté sur un point spécifique des équipements d'arrimage.**

2.2 Comportement mécanique du colis en conditions normales et accidentelles de transport

Le requérant appuie les démonstrations de sûreté du comportement du colis MARIANNE muni de ses nouveaux capots amortisseurs sur des simulations numériques de chutes. Le modèle numérique est recalé sur des essais réalisés avec des maquettes d'essais munies des capots précédemment utilisés. Le modèle retenu apparaît globalement satisfaisant. Néanmoins, l'IRSN estime que le comportement du bois des capots au-delà de son point de consolidation devrait être mieux justifié. **Ceci fait l'objet de l'observation 2.B.a.i formulée en annexe 2 au présent avis.**

Le requérant étudie les déformations et les contraintes dans les matériaux du colis, tout particulièrement dans les vis, les tirants et au niveau des plans de joints d'étanchéité, pour différentes températures et orientations de chutes (axiales, horizontales...). L'IRSN considère que les configurations de chute étudiées n'appellent pas de remarque. En revanche, l'IRSN estime que la démarche retenue par le requérant pour l'étude du comportement mécanique des vis et des tirants, basée sur un comportement purement élastique puis l'utilisation d'une méthode d'évaluation de la plastification de ces éléments, n'est pas justifiée. Toutefois, compte tenu des valeurs très faibles des déformations plastiques évaluées, l'IRSN estime que l'utilisation d'un modèle élastoplastique plus approprié pour l'évaluation des déformations plastiques ne serait pas de nature à modifier les conclusions de l'étude du requérant.

En outre, l'IRSN estime que le dossier de sûreté devrait être complété par des éléments concernant la justification de l'absence de conséquence sur la sûreté du colis lié à une chute sur poinçon préalable à la chute représentative

des conditions accidentelles, le comportement mécanique des contenus en cas de chute ainsi que sur la répartition des efforts dans les soudures. Ceci fait l'objet des observations 2.B.b.i, 2.B.c.i, 2.C.a et 2.C.b formulées en annexe 2 au présent avis.

3 COMPOTEMENT THERMIQUE

Les justifications du comportement thermique reposent sur une étude numérique et un essai représentatif de l'épreuve de feu réglementaire réalisé sur une maquette munie de capots d'une génération précédente. Elles sont globalement satisfaisantes. Néanmoins, bien que le nouveau concept des capots contient un volume de bois plus important que celui des capots précédents, le requérant n'a pas présenté de nouveaux éléments montrant l'absence de conséquence sur les éléments sensibles du colis (joints notamment) liés à la poursuite de la combustion du bois des capots à l'issue de l'épreuve de feu. L'IRSN estime que le requérant devrait compléter le dossier de sûreté en conséquence. Ce point fait l'objet de l'observation 3.A formulée en annexe 2 du présent avis.

En cours d'instruction, le requérant a transmis une note présentant un calcul numérique thermique simplifié de deux colis MARIANNE chargés transportés sous bâche avec ensoleillement. Il en ressort que la température maximale à la surface des colis sous bâche évaluée par le requérant est supérieure d'environ une trentaine de degrés à celle retenue dans les démonstrations de sûreté du colis en conditions normales de transport à l'air libre avec ensoleillement, configuration servant notamment d'état initial pour le requérant pour ensuite effectuer le calcul numérique correspondant à l'épreuve de feu. Toutefois, le requérant n'a pas montré que ces températures maximales plus élevées ne remettent pas en cause les démonstrations de sûreté relatives aux conditions normales de transport ainsi que pour l'épreuve de feu. En l'absence de ces justifications, l'IRSN a modifié le projet de certificat pour y spécifier l'interdiction du transport en milieu confiné, sauf autorisation de l'Autorité Compétente.

4 CONFINEMENT

4.1 Taux de compression des joints et taux de remplissage des gorges

Le requérant a présenté une évaluation des taux de compression des joints de confinement du colis pour les conditions normales de transport, qui montre le respect du critère retenu pour assurer le confinement. En revanche, ce critère n'est pas respecté en cas de prise en compte de l'ouverture des plans de joints calculés pour les conditions accidentelles de transport. En outre, les éléments présentés dans le dossier de sûreté ne permettent pas d'exclure le risque d'extrusion des joints pour les plages de températures correspondants aux conditions normales ou accidentelles de transport.

Aussi, au cours de l'instruction, le requérant a proposé des modifications concernant les dimensions des joints et des gorges des systèmes de fermeture du colis et a présenté, sur cette base, une réévaluation des taux de compression minimaux des joints et les taux de remplissage maximaux des gorges. Celle-ci permet de conclure au respect du critère lié au taux de compression des joints et à l'absence de risque d'extrusion de ceux-ci. Cela n'appelle pas de remarque de l'IRSN. Toutefois, l'IRSN a proposé de référencer ces nouvelles dimensions dans le projet de certificat, ce qui a été accepté par le requérant. Enfin, l'IRSN considère que le requérant devrait spécifier ces nouvelles dimensions et tolérances dans la prochaine mise à jour du dossier de sûreté. Ceci fait l'objet de l'observation 4.A.a formulée en annexe 2 au présent avis.

4.2 Relâchement d'activité

4.2.1 Calcul de la pression dans la cavité

Afin de pouvoir évaluer le taux de relâchement d'activité, le requérant évalue la durée de remontée en pression de la cavité due à l'entrée de l'air extérieur. L'IRSN estime que les hypothèses retenues par le requérant pour cette évaluation ne sont pas totalement satisfaisantes, en particulier pour ce qui concerne le nombre de joint de confinement pris en compte ou le différentiel de pression retenu au niveau des joints lors des tests d'étanchéité. **Aussi, dans le cadre de l'amélioration des démonstrations de sûreté, l'IRSN estime que le requérant devrait mettre à jour le dossier de sûreté en prenant en compte les observations 4.B.a.i et 4.B.a.ii formulées en annexe 2 au présent avis.**

Par ailleurs, le requérant n'a pas considéré la remontée en pression due à la présence d'eau résiduelle dans la cavité après le séchage de celle-ci avant le transport, dans le cas d'un chargement du colis sous eau. Le requérant justifie cette hypothèse sur la base d'un essai de qualification de la procédure de séchage d'un emballage MARIANNE en 2014 pour lequel il n'a pas détecté d'eau dans la cavité. À cet égard, l'IRSN estime que la méthode de détection de l'eau retenue pour cet essai ne permet pas d'exclure qu'une faible quantité d'eau résiduelle était néanmoins présente dans la cavité. **Aussi, dans le cadre de l'amélioration des démonstrations de sûreté, l'IRSN considère que le requérant devrait compléter le dossier de sûreté en tenant compte de l'observation 4.B.a.iii formulée en annexe 2 au présent avis.**

4.2.2 Relâchement d'activité en conditions normales et accidentelles de transport

Le dossier de sûreté présente une évaluation du relâchement d'activité en conditions normales et accidentelles de transport. À cet égard, le requérant retient des hypothèses concernant le taux de relâchement des gaz de fission en dehors des cibles, sur la base de données issues d'un article scientifique concernant des structures en alliage d'uranium et d'aluminium. Le taux de dégazage des cibles dépend de la température de la cible, qui n'a pas été évaluée, et non de la température des gaz de la cavité. L'IRSN considère que le caractère enveloppe des valeurs de taux de relâchement prises en compte devraient être justifiées, en tenant compte de la température des cibles, et non celle du gaz dans la cavité. Par conséquent, l'IRSN estime que les éléments présentés par le requérant ne permettent pas de considérer que ces hypothèses sont raisonnablement enveloppes. **Ceci fait l'objet de l'observation 4.B.b.i.**

En outre, le requérant évalue le relâchement d'activité en conditions normales de transport en considérant uniquement que la cavité est en dépression par rapport à l'extérieur. Or, la réglementation demande que cette évaluation soit réalisée en considérant un transport d'une durée d'un an. De ce fait, le requérant aurait dû évaluer le relâchement d'activité en considérant également que, pendant une certaine durée, la cavité sera en surpression par rapport à l'extérieur. Toutefois, l'IRSN a vérifié que le relâchement d'activité reste inférieur au critère réglementaire durant un an de transport en considérant la durée pendant laquelle la cavité est en dépression et celle où elle est en surpression ainsi que des hypothèses enveloppes sur le taux de relâchement des gaz de fission.

Pour ce qui concerne l'évaluation du relâchement d'activité en conditions accidentelles de transport, le requérant ne considère que le relâchement d'aérosols lorsque la cavité est en surpression par rapport à l'extérieur. En effet, il ne tient pas compte des autres phénomènes de relâchement d'activité envisageables (fuite par écoulement visqueux laminaire et moléculaire des gaz de fission et des aérosols et perméation des gaz de fission). À cet égard, l'IRSN a vérifié que la prise en compte de tous les phénomènes de relâchement d'activité en conditions accidentelles de transport ne conduit pas à dépasser le critère réglementaire correspondant à ces conditions de transport.

Toutefois, l'IRSN estime que le requérant devrait compléter son dossier pour remédier aux insuffisances du dossier de sûreté évoquées ci-dessus. Ceci fait l'objet de l'observation 4.B.c formulée en annexe 2 au présent avis.

4.3 Radiolyse

Le requérant étudie le risque de formation de dihydrogène par radiolyse des joints de l'aménagement interne et de l'eau résiduelle dans la cavité après séchage. De cette étude, il montre que la concentration de dihydrogène reste inférieure à la limite inférieure d'inflammabilité. Toutefois, l'IRSN note que le requérant ne prend pas en compte dans son étude la production de dioxygène par radiolyse de l'eau résiduelle, qui influe sur la limite d'inflammabilité de l'hydrogène. Cependant, eu égard au caractère pénalisant des hypothèses retenues (quantité d'eau résiduelle prise en compte notamment), ceci n'est pas de nature à remettre en cause la sûreté du modèle de colis.

5 RADIOPROTECTION

L'étude visant à justifier le respect des critères réglementaires en matière de débits d'équivalent de dose pour les conditions de transport de routine et les conditions normales de transport n'a pas été modifiée par le requérant par rapport à la précédente version du dossier de sûreté. Cette étude, qui a été évaluée par l'IRSN en 2014 dans le cadre de la précédente de demande de prorogation d'agrément, n'avait pas fait l'objet de remarque.

Dans la mise à jour du dossier de sûreté, le requérant a présenté un nouveau calcul numérique relatif aux conditions accidentelles de transport, qui tient compte d'un endommagement très pénalisant du colis. Sur la base de ce calcul, le requérant conclut au respect des critères réglementaires de débits d'équivalent de dose. **L'IRSN estime que les justifications du requérant sont satisfaisantes.**

6 SURETE-CRITICITE

Les justifications relatives à la sous criticité de l'emballage MARIANNE chargé du contenu n°1 n'ont pas été modifiées par le requérant par rapport à la précédente version du dossier de sûreté. L'évaluation réalisée par l'IRSN en 2014 dans le cadre de la précédente de demande de prorogation d'agrément avait conduit à considérer que ces justifications étaient satisfaisantes.

Pour le cas de l'emballage chargé du contenu n°4, le requérant présente des justifications qui reposent sur la même démarche que celle retenue pour la justification de la sous criticité du contenu n°1, en la complétant notamment avec de nouvelles hypothèses pour l'étude de la sous-criticité d'un réseau de colis en conditions accidentelles de transport. **L'IRSN considère que ces justifications sont satisfaisantes.**

7 UTILISATION, MAINTENANCE ET FABRICATION

Les éléments présentés par le requérant dans le chapitre du dossier de sûreté ne sont pas complets, notamment pour ce qui concerne notamment les dispositions retenues pour le contrôle d'étanchéité du colis, le séchage avant le transport ou la vérification de la durée minimale de refroidissement des cibles retenue dans les démonstrations de sûreté.

Le requérant a indiqué, en cours d'instruction, que le dossier de sûreté sera complété pour tenir compte des points qui font l'objet des observations formulées au point 5.A de l'annexe 2 du présent avis, à l'exception de l'observation 5.A.a concernant la spécification dans la notice d'utilisation de la durée minimale retenue dans les études de confinement et de radioprotection entre le retrait des cibles du flux neutronique en réacteur et l'expédition du colis.

Enfin, l'IRSN estime que le requérant devrait également tenir compte des observations 5.B, 5.C et 6 formulées en annexe 2 au présent avis, visant à compléter les spécifications liées à l'utilisation de l'emballage ainsi que pour sa maintenance et sa fabrication.

Dans l'attente de la mise à jour du dossier de sûreté, l'IRSN a modifié le projet de certificat pour spécifier les principaux points qui participent aux démonstrations de sûreté.

8 CONCLUSION

En conclusion, sur la base de l'évaluation du dossier de sûreté et des informations complémentaires transmises en cours d'instruction, l'IRSN considère que le modèle de colis MARIANNE est conforme aux prescriptions réglementaires applicables aux modèles de colis de type B(U) chargés de matières fissiles, tel que défini dans le projet de certificat modifié par l'IRSN. Les modifications apportées par l'IRSN au projet de certificat sont présentées en annexe 1 au présent avis.

Par ailleurs, l'IRSN considère que le requérant devrait tenir compte des observations formulées en annexe 2 au présent avis, qui visent à améliorer les démonstrations de sûreté présentées dans le dossier de sûreté.

Pour le directeur général, par délégation

Jean-Paul DAUBARD

Adjoint au Directeur de l'expertise de sûreté

Annexe 1 à l'Avis IRSN/2017-00154 du 5 mai 2017

Propositions de l'IRSN de modification du projet certificat d'agrément

Les propositions de modification en gras ne sont pas acceptées par le requérant au moment de la rédaction du présent avis.

1. Corps du certificat

A. Référencement des nouvelles dimensions des joints et des gorges.

2. Annexe 0

A. Paragraphe 3. MESURES QUE L'EXPÉDITEUR DOIT PRENDRE AVANT EXPÉDITION

a. Spécification des instructions d'utilisation présentées au point 5.A de l'annexe 2 au présent avis. Le requérant a accepté ces propositions de modifications à l'exception de celle présentée au point **5.A.a de l'annexe 2.**

B. Paragraphe 7. PRESCRIPTION COMPLÉMENTAIRE EN CAS DE TRANSPORT CONFINÉ

a. **Interdiction du transport en milieu confiné, sauf autorisation de l'Autorité Compétente.**

Annexe 2 à l'Avis IRSN/2017-00154 du 5 mai 2017

Observations à prendre en compte dans la prochaine mise à jour du dossier de sûreté

1. Description de l'emballage

A. Caractéristiques mécaniques

- a. Justifier que les caractéristiques mécaniques prises en compte pour le plomb et le plâtre dans les études sont adaptées sur toute la plage de température atteinte en conditions normales de transport, par exemple sur la base d'une étude de sensibilité des résultats des calculs numériques.
- b. Spécifier les caractéristiques mécaniques du plomb et du plâtre ainsi que celles des aciers utilisés dans la fabrication de l'emballage, des vis et des tirants, sur toute la plage de température atteinte en conditions normales de transport.

2. Mécanique

A. Arrimage

- a. Spécifier une limite élastique de l'acier des goussets des pieds de l'emballage cohérente avec les justifications de la tenue de ces organes d'arrimage.

B. Chutes en conditions normales et accidentelles de transport

a. Calculs numériques des essais de chutes

- i. Retenir une courbe déformation/contrainte au-delà du seuil de consolidation des bois des capots, élaborée sur la base d'essais de compression des bois utilisés dans la constitution de la maquette d'essais de chute.

b. Calculs numériques de chutes du colis MARIANNE

- i. Justifier que l'absence de modélisation des soudures dans les calculs numériques réalisés n'a pas d'impact sur les justifications, sur la base notamment d'une vérification de la répartition des efforts dans les zones des soudures

c. Chute sur poinçon

- i. Vérifier qu'un endommagement des capots ou de leurs fixations (tirants) par une chute sur poinçon, préalable à une chute de 9 m, n'induit pas des dommages supérieurs à ceux pris en compte dans les études (écartements des plans de joints, isolation thermique du corps du colis) relatives aux épreuves représentatives des conditions accidentelles de transport.

C. Comportement mécanique des contenus

- a. Spécifier les caractéristiques mécaniques des porte-cibles.
- b. Présenter les justifications du comportement mécanique des contenus (porte-cibles et cibles).

3. Thermique

- A. Étudier l'influence de la poursuite de la combustion du bois des capots à l'issue de l'épreuve de feu sur les températures maximales des éléments sensibles du colis (joints d'étanchéité notamment).

4. Confinement

- A. Taux de remplissage des gorges des joints
 - a. Spécifier les dimensions et les tolérances associées des joints et des gorges des systèmes de fermeture, transmises en cours d'instruction.
 - b. Vérifier l'absence d'impact des tolérances de fabrication concernant la section des gorges trapézoïdales des joints (rayons et angles) sur les valeurs maximales des taux de remplissage des gorges.
- B. Relâchement d'activité
 - a. Remontée en pression de la cavité
 - i. Vérifier que les contrôles d'étanchéité sur site et l'évaluation des taux de fuite mesurés sont réalisés en conformité avec les prescriptions de la norme ISO 12807.
 - ii. Mettre à jour les démonstrations de sûreté (remontée en pression et relâchement d'activité) afin de prendre en compte l'ensemble des joints de confinement et les conditions standards prescrites par la norme ISO 12807 pour évaluer le diamètre de capillaire de fuite équivalent.
 - iii. Déterminer la quantité maximale d'eau résiduelle après séchage de la cavité et considérer cette masse d'eau dans l'évaluation de la remontée en pression de la cavité lors du transport.
 - b. Taux de relâchement dans la cavité des gaz de fission
 - i. Justifier le caractère enveloppe des valeurs des taux de relâchement des gaz de fission prises en compte dans les études, en tenant compte de la température des cibles.
 - c. Évaluer le taux maximal de relâchement d'activité, en considérant tous les phénomènes de fuite envisageables (écoulements visqueux laminaires et moléculaires ainsi que la perméation des joints), pour une durée de transport d'un an en conditions normales de transport, suivie d'une semaine en conditions accidentelles de transport.

5. Utilisation

- A. Spécifier :
 - a. la durée minimale retenue dans les études de confinement et de radioprotection entre le retrait des cibles du flux neutronique en réacteur et l'expédition du colis ;
 - b. le contrôle de l'absence de corps étrangers dans la cavité et le barillet ;
 - c. le nettoyage et l'essuyage des surfaces d'appui des joints accessibles lors des opérations de séchage ;
 - d. la prise en compte des incertitudes de mesure dans le contrôle des taux de fuite.
- B. Spécifier les dispositions retenues pour le graissage du dessous des têtes de vis, qui soient cohérentes avec les coefficients de frottement sous les têtes des vis pris en compte dans les calculs des contraintes de précharge.
- C. Spécifier que le transport est effectué avec une protection lorsque que le colis est chargé sous eau.

6. Maintenance/Fabrication

- A. Spécifier le contrôle de l'humidité des bois et du plâtre des capots, lors de la fabrication et lors de la maintenance.
- B. Spécifier le contrôle volumique sur toute leur longueur des soudures de l'enveloppe de confinement, dans le cadre de la fabrication d'un nouvel emballage.