

Monsieur le Directeur du transport et des sources

Fontenay-aux-Roses, le 20 mars 2025

AVIS D'EXPERTISE N° 2025-00023 DU 20 MARS 2025

Objet : Transport – Modèle de colis CTB – Renouvellement d'agréments.

Références : [1] Lettre CODEP-DTS-2024-025465 du 27 mai 2024.
[2] Règlement de transport de l'AIEA - SSR-6 - Édition de 2018.
[3] Règlement de transport de l'AIEA - SSR-6 - Édition de 2012.

Par lettre citée en première référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a sollicité l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur la conformité au règlement cité en deuxième référence, du modèle de colis CTB, tel que décrit dans le dossier de sûreté joint à la demande de renouvellement d'agrément présentée par le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA), dénommé ci-après « le requérant ».

Au 1^{er} janvier 2025, l'ASN et l'IRSN sont devenus l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR). Le présent avis de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR vient en réponse à la lettre citée en première référence.

Le modèle de colis CTB, également appelé R64, fait l'objet d'agréments du type B pour matières fissiles ou non, selon le règlement cité en troisième référence, pour le transport par voies routière et aérienne, de diverses matières radioactives solides ou sous la forme de sources scellées, dont la validité a expiré en 2024.

Dans cette demande de renouvellement d'agréments, le requérant présente une modification de concept de l'emballage et de définition de ses contenus, un retour d'expérience sur l'utilisation et la maintenance de l'emballage, une étude des mécanismes de vieillissement et des réponses aux demandes de l'ASN formulées à la suite de l'instruction du précédent renouvellement d'agrément. À cet égard, il a en particulier révisé la modélisation sur laquelle il fonde la démonstration du comportement du modèle de colis en cas de chute.

De l'évaluation des documents transmis, en tenant compte des éléments complémentaires apportés par le requérant au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté retient les points importants suivants.

1. DESCRIPTION DU MODÈLE DE COLIS

1.1. EMBALLAGE

L'emballage CTB, de forme générale cylindrique, est formé par un corps, un système de fermeture et un système amortisseur de choc. Le corps est formé radialement par deux enveloppes métalliques entre lesquelles est coulé un mortier neutrophage qui constitue la protection radiologique. Le système de fermeture est composé côté avant d'un bouchon et côté arrière d'une tape. Ces éléments sont équipés de joints en élastomère et fixés par vis au corps de l'emballage. Le système amortisseur de choc est composé de deux capots amortisseurs similaires, constitués d'une enveloppe en acier contenant du bois (balsa et tilleul) et de la laine de verre, fixés par vis aux extrémités du corps. Enfin, quatre oreilles et quatre pieds fixés sur le corps de l'emballage permettent sa manutention et son arrimage.

Dans le cadre de sa demande de renouvellement, le requérant a fait évoluer la conception de la tape et du bouchon en modifiant leurs gorges de joints afin de mieux satisfaire les critères de taux d'extrusion à haute température et de

taux de compression à basse température. Ces nouveaux concepts de tape et bouchon mettent en œuvre des joints de dimensions différentes. Dans l'attente de son remplacement par le nouveau concept, l'ancien concept de modèle de colis, avec une tape et un bouchon non modifiés, reste utilisable uniquement pour des transports réalisés avec une température ambiante supérieure à -20 °C.

1.2. CONTENUS ET AMÉNAGEMENTS INTERNES

Les contenus n° 1 et n° 2, objet de la demande de renouvellement d'agrément, sont constitués de matières radioactives solides sous forme de poudre, d'oxydes, de nitrates ou d'alliages métalliques. La différence entre ces deux contenus est la quantité de matière fissile présente. Le modèle de colis formé par l'emballage CTB et le contenu n° 1 est du type B chargé de matière fissile. Le contenu n° 2, contenant une faible quantité de matière fissile, est « excepté » au sens du règlement cité en deuxième référence. Aussi, le modèle de colis formé par l'emballage CTB et le contenu n° 2 est du type B chargé de matières non fissiles ou fissiles exceptées.

En outre, le requérant a ajouté des sources aux contenus et en a supprimé d'autres. Il a par ailleurs ajouté la possibilité de transporter des mélanges de sources de types différents. À la suite de la révision de l'étude de radioprotection, la caractérisation des contenus autorisés a été modifiée. Par ailleurs, le contenu admissible désigne désormais l'ensemble des sources, de leur conditionnement et des aménagements internes. **Ceci permet de répondre à la demande de l'ASN de clarifier dans le dossier de sûreté les sources et aménagements internes pouvant être transportés.**

2. COMPORTEMENT MÉCANIQUE

2.1. CONDITIONS DE TRANSPORT DE ROUTINE

Dans le cadre de la présente demande, le requérant ne révisé pas les démonstrations de sûreté relatives aux conditions de transport de routine (CTR) mais apporte, en réponse aux demandes de l'ASN, des éléments de justification relatifs à la tenue mécanique des organes d'arrimage et de manutention.

En premier lieu, le requérant confirme que, bien que le colis ait la capacité d'être arrimé par ses pieds, *via* des vis de fixation, son arrimage n'est assuré que par l'intermédiaire de ses oreilles, *via* des élingues. Il justifie ainsi qu'aucune démonstration du dimensionnement des pieds aux efforts dus aux accélérations en transport aérien n'est nécessaire. **Ceci permet de répondre à la demande de l'ASN portant sur la tenue des pieds d'arrimage. En tout état de cause, il appartient au requérant de supprimer du dossier de sûreté les calculs de dimensionnement initiaux rendus obsolètes par le choix de retenir des dispositions d'arrimage uniquement par les oreilles.**

En second lieu, le requérant confirme que les configurations de mise en tension des sangles retenues pour justifier la tenue des organes d'arrimage en configuration de transport prennent en compte le cas pénalisant où le système est retenu par seulement deux sangles sur les quatre. Il a également justifié que l'effort additionnel de mise en tension initiale des sangles est couvert par le dimensionnement des organes d'arrimage. **Ceci permet de répondre à la question de sûreté posée par la demande de l'ASN sur la tenue des organes d'arrimage et de manutention.**

2.2. CONDITIONS ACCIDENTELLES DE TRANSPORT

Pour mémoire, la démonstration de la tenue mécanique du modèle de colis CTB lors des chutes réglementaires représentatives des conditions normales (CNT) et accidentelles de transport (CAT) a été construite sur des essais de chute réalisés en 2004 à température ambiante sur un exemplaire d'emballage CTB, complétée par des simulations numériques pour étudier les chutes sur poinçon, le cumul des épreuves associées aux CNT et CAT et l'influence de la température du modèle de colis (de -40 °C à 90 °C) sur sa tenue mécanique. Puis, le requérant a consolidé la démonstration visant à déterminer l'angle de chute le plus pénalisant pour la tenue des vis et l'ouverture des plans de joints de l'enveloppe de confinement, en étudiant de nouvelles orientations du colis à l'aide d'un autre modèle numérique. Cette démarche a permis de consolider progressivement certains des points de la démonstration. Lors de sa dernière instruction, l'ASN a toutefois émis des demandes de justifications complémentaires qui ont conduit le requérant, dans le cadre de ce renouvellement, à réviser entièrement sa démonstration en s'appuyant sur une nouvelle étude par simulation numérique destinée à uniformiser la modélisation numérique et couvrir ainsi l'ensemble des configurations précédemment étudiées et des justifications apparues comme nécessaires. À cet

égard, il a également réalisé une analyse modale afin de justifier la fréquence de coupure des accélérations considérée dans son nouveau modèle numérique.

Le requérant a recalé ce nouveau modèle numérique par rapport aux essais réalisés en 2004. Le recalage est réalisé sur les séquences de chute axiale et de chute inclinée, mais pas sur la configuration de chute avec fouettement. Or, lors des précédentes démonstrations, l'étude de la chute avec fouettement avait permis d'identifier que ce type de chute conduisait à maximiser les déformations au niveau des vis du système de fermeture ainsi que le décollement du plan de joint du bouchon. Pour la Direction de l'expertise en sûreté, il est donc important que le modèle soit apte à représenter le comportement du colis dans toutes les configurations de chutes, y compris celles avec fouettement. Ainsi, **la Direction de l'expertise en sûreté estime que la qualification du modèle pour représenter le comportement du modèle de colis lors de la chute avec fouettement n'est pas à ce stade entièrement démontrée. À cet égard, la démonstration du requérant ne permet donc pas de répondre complètement à la question de sûreté portée par la demande de l'ASN portant sur le recalage du modèle numérique.**

Afin d'étudier, à l'aide du modèle recalé, le comportement du modèle de colis aux températures atteintes en CNT, le requérant retient des lois de comportement du bois composant les capots et des hypothèses différentes selon les conditions de températures, notamment à chaud pour maximiser le talonnement du bois. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que les choix de modélisation du comportement des bois ne permettent pas de justifier le conservatisme de la démonstration en cas de talonnement des capots et ne sont donc pas suffisants pour solder la demande de l'ASN sur cet aspect.**

Par ailleurs, le requérant n'a pas étudié l'effet d'une chute sur poinçon en préalable à une chute de 9 m. Or cette séquence pourrait avoir une incidence sur le risque de déchirure des tôles des capots. **Ceci est pris en considération dans l'examen du comportement thermique et les justifications relatives au confinement du modèle de colis présentés aux paragraphes 3 et 4 du présent avis.**

Enfin, afin de répondre à la demande de l'ASN portant sur le risque de rupture brutale à -40 °C, le requérant justifie qu'une rupture de la virole externe ne serait pas plus préjudiciable à la sûreté du modèle de colis que ce qui est déjà retenu dans la démonstration de sûreté actuelle. Par ailleurs, les éléments composant l'enveloppe de confinement sont en acier inoxydable de type austénitique, peu sensibles à ce phénomène à -40 °C. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que les éléments apportés par le requérant permettent de répondre à la demande de l'ASN.**

En conclusion, **la Direction de l'expertise en sûreté estime que la démonstration du requérant relative à la tenue mécanique du modèle de colis CTB, qui constitue une amélioration par rapport aux démonstrations précédentes, est convenable, bien que des compléments restent à apporter pour les chutes des CAT** (concernant l'absence de talonnement du bois des capots, le recalage du modèle numérique pour la chute avec fouettement et l'absence de déchirure des tôles du capot).

3. COMPORTEMENT THERMIQUE

L'étude du comportement thermique du modèle de colis n'a pas été révisée par rapport à la dernière demande de renouvellement d'agrément. Ainsi, le maintien des performances des composants à l'égard des effets thermiques est inchangé : les températures atteintes par les joints de l'enveloppe de confinement sont compatibles avec la plage d'utilisation du matériau en régime permanent en CNT et en régime d'exposition transitoire en CAT.

Par ailleurs, s'agissant de la demande de l'ASN relative à la prise en compte de la poursuite de la combustion du bois des capots lors de l'épreuve d'incendie réglementaire, le requérant n'a pas apporté d'élément nouveau dans la démonstration de sûreté, considérant que ce risque est écarté du fait de l'absence de déchirure de la tôle des capots. Dans la mesure où le requérant n'a pas étudié l'effet d'une chute sur poinçon en préalable à une chute de 9 m, la Direction de l'expertise en sûreté estime que le risque de déchirure des tôles de capot ne peut pas être exclu à ce stade. **Ceci conduit la Direction de l'expertise en sûreté à considérer que le requérant n'apporte pas d'éléments de justification suffisants pour répondre à la question de sûreté portée par la demande de l'ASN.**

Enfin, en réponse à la demande de l'ASN relative à l'évacuation des gaz produits lors d'un incendie en dehors de l'emballage, le requérant a justifié la présence d'un nombre suffisant de bouchons fusibles, répartis sur le corps de l'emballage et au niveau de chacun des capots. **Ces éléments permettent de solder la question de sûreté portée par la demande de l'ASN.**

4. CONFINEMENT

Dans le cadre de la présente demande, le requérant a révisé les calculs de taux de remplissage des gorges de joint, de compression des joints et de relâchement d'activité afin de prendre en compte :

- les nouveaux concepts de tape et bouchon ;
- la valeur de décollement maximal de la portée de joints du bouchon de 0,07 mm issue des nouveaux calculs numériques du comportement mécanique du modèle de colis en cas de chute.

4.1. RISQUE D'EXTRUSION DES JOINTS

Le requérant évalue le risque d'extrusion d'un joint en comparant la température à partir de laquelle il occupe la totalité du volume de sa gorge avec sa température maximale atteinte en CAT. Pour les anciens concepts de tape et bouchon, pour lesquels la précédente expertise avait fait apparaître un risque d'extrusion, la prise en compte des dimensions telles que construites des gorges et joints, au lieu de celles définies pour le modèle de colis qui prennent en compte des tolérances de fabrication plus larges, permet de justifier l'absence d'extrusion des joints. Pour les nouveaux concepts de tape et bouchon, l'absence d'extrusion des joints est justifiée avec des hypothèses couvrant les tolérances dimensionnelles des gorges et joints du modèle de colis.

La Direction de l'expertise en sûreté relève que la marge de sûreté à l'égard de la température maximale admissible des joints de la tape avant extrusion est très faible. Aussi, étant donné que l'absence de poursuite de la combustion du bois des capots à l'issue de l'épreuve réglementaire d'incendie n'est pas suffisamment justifiée, **la Direction de l'expertise en sûreté estime que le risque d'extrusion des joints de la tape ne peut être exclu à ce stade. La maîtrise de ce risque est toutefois satisfaisante pour les joints du bouchon.**

4.2. TAUX DE COMPRESSION MINIMAL DES JOINTS

Le requérant a évalué le taux minimal de compression des joints assurant l'étanchéité de l'enveloppe de confinement en tenant compte des températures minimales pouvant être atteintes par les joints en CNT, soit :

- -40 °C pour les emballages équipés des nouveaux concepts de tape et bouchon ;
- -20 °C pour les emballages équipés des anciens concepts de tape et bouchon, sous couvert d'agrément des types B(M) et B(M)F.

S'agissant des nouveaux concepts de tape et bouchon, **les taux de compression minimaux évalués par le requérant présentent des marges que la Direction de l'expertise en sûreté estime suffisantes.**

S'agissant des anciens concepts de tape et bouchon, les résultats obtenus par le requérant le conduisent à conserver la possibilité de transporter les exemplaires ainsi équipés de l'ancien concept de fermeture dans le cadre des agréments de type B(M) jusqu'à une limite de température ambiante de -20 °C, sous condition du changement systématique des joints de confinement avant chaque transport d'emballage chargé pour les cinq exemplaires concernés, spécifiés dans le projet de certificat transmis par le requérant. Dans la mesure où le nouveau concept de fermeture est en cours de déploiement sur l'ensemble des exemplaires du modèle de colis CTB, **la Direction de l'expertise en sûreté estime que cette démarche est acceptable.**

4.3. RELÂCHEMENT D'ACTIVITÉ

Dans le cadre de la présente demande de renouvellement d'agrément, le requérant a réévalué le relâchement d'activité de l'emballage CTB afin de déterminer le taux de fuite global admissible (de la cavité interne, à répartir entre tape et bouchon) qui sera à garantir lors du contrôle d'étanchéité réalisé avant transport. Le taux de fuite ainsi déterminé étant moins contraignant que ceux indiqués dans le précédent dossier, il a mis à jour le chapitre relatif aux consignes de maintenance en retenant cette nouvelle valeur. **Cette mise à jour n'appelle pas de remarque de la part de la Direction de l'expertise en sûreté.**

5. RADIOPROTECTION

Pour mémoire, dans son précédent dossier de sûreté, le requérant avait adopté une démarche consistant à déterminer les sources les plus pénalisantes pour, d'une part les émissions photoniques, d'autre part les émissions

neutroniques, puis à évaluer pour celles-ci les DED autour du colis. Cette démonstration avait fait l'objet de demandes de l'ASN portant sur le caractère enveloppe des hypothèses considérées dans les calculs de source.

Dans le cadre de la présente demande, afin de justifier le respect des critères réglementaires de radioprotection en CTR et CNT, et pour répondre aux demandes de l'ASN, le requérant présente une évaluation des débits d'équivalent de dose (DED) complètement révisée et fondée sur une nouvelle démarche.

Cette démarche consiste à classer les sources par familles et à en déterminer les caractéristiques radiologiques enveloppes, pour ensuite définir, pour chaque famille, les limitations en flux de neutrons et de photons permettant de respecter les critères réglementaires de DED autour du modèle de colis. Une analyse complémentaire permet ensuite de déduire les limites de transportabilité des contenus, exprimées en masse et en activité pour chaque radionucléide, retenues pour la caractérisation des différentes sources et mélanges de sources autorisés dans le CTB (cf. paragraphe 1.2 de l'avis). En outre, en cas de mélange de sources, un système d'inéquations, mettant en jeu soit les masses, soit les activités de chacune des sources transportées (par rapport aux activités et masses maximales), devra être respecté.

La Direction de l'expertise en sûreté a identifié un certain nombre d'imprécisions sur certaines hypothèses de calcul la conduisant à estimer que le critère, retenu par le requérant, de 2 mSv/h au contact du modèle de colis pour un transport sous utilisation non-exclusive pourrait être dépassé. Ces imprécisions ne devraient toutefois pas conduire à dépasser le critère maximal admissible autorisé par le règlement de 10 mSv/h au contact du modèle de colis pour un transport sous utilisation exclusive, mais il convient de rappeler qu'un tel dépassement implique la mise en place de mesures de protection supplémentaires au sein du véhicule de transport. Pour les CAT, les calculs du requérant permettent de démontrer que, si le critère réglementaire des CTR de 10 mSv/h au contact du colis est respecté, alors le critère réglementaire des CAT l'est également. Aussi, dans le cas où la mesure au contact d'un colis CTB viendrait à dépasser le critère de 2 mSv/h au contact, il appartiendrait à l'expéditeur et au transporteur de prendre toutes les mesures nécessaires pour se conformer au paragraphe 573 du règlement, et au requérant de définir des moyens pour permettre à ces acteurs de répondre à ces exigences. Compte tenu de ce qui précède, **la Direction de l'expertise en sûreté estime que les éléments présentés répondent de manière acceptable aux demandes de l'ASN.**

6. PRÉVENTION DES RISQUES DE CRITICITÉ

Dans le cadre de la présente demande, le requérant a mis à jour l'étude de l'évaluation des risques de sûreté-criticité du modèle de colis afin de tenir compte des modifications apportées à la définition du contenu. Il a en effet augmenté de la limite de masse de ^{241}Pu et introduit la possibilité de transporter des radionucléides fissiles avec ou sans éléments légers en mélange avec d'autres radionucléides avec éléments légers. Pour réaliser sa démonstration, le requérant s'appuie toutefois sur les deux études de criticité préalablement transmises et expertisées avec les dossiers de sûreté antérieurs. Le requérant justifie que leur validité couvre les deux modifications préalablement évoquées. **La Direction de l'expertise en sûreté considère que cette démonstration est acceptable.**

7. FABRICATION, UTILISATION ET MAINTENANCE

Dans le cadre de la présente demande, le requérant a présenté le retour d'expérience acquis entre 2018 et 2023 lors des opérations de maintenance et d'exploitation réalisées sur les différents exemplaires du modèle de colis CTB. Ce retour d'expérience montrant l'apparition en 2021 d'événements, déjà relevés en 2013, relatifs à la présence d'impacts sur les portées des joints d'étanchéité de l'emballage, le requérant a répondu à la demande de l'ASN d'en analyser les causes en précisant que ces impacts étaient imputables à des frottements ou chocs légers lors de l'insertion du bouchon dans la cavité de l'emballage. Outre les actions correctives destinées à rétablir l'état de surface de la portée des joints, le requérant a indiqué avoir révisé la notice d'utilisation de manière à rappeler la nécessité d'être précautionneux lors de l'insertion du bouchon. Il précise par ailleurs que l'existence de ces défauts ne remet pas en cause la sûreté de l'emballage, le critère d'étanchéité de l'emballage étant vérifié avant chaque expédition. **La Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant a répondu de manière acceptable à la demande de l'ASN.**

En outre, le dossier de sûreté a été mis à jour pour intégrer les nouveaux concepts de tape et bouchon. Il a de plus été complété par de nouveaux éléments relatifs notamment aux consignes de serrage des vis (capots, orifices

d'étanchéité) et aux flux de fuite à garantir avant transport et lors des contrôles périodiques. Par ailleurs, en réponse à une demande de l'ASN, il y est indiqué qu'il respecte les exigences de la norme NF EN 12195-1 relative aux dispositifs d'arrimage. La direction de l'expertise en sûreté relève que cette norme ne s'applique qu'aux transports routiers pour des véhicules de plus de 3 500 kg. Aussi, il appartiendra au requérant de s'assurer que cette norme reste pertinente pour les autres modes de transport et véhicules. **La Direction de l'expertise en sûreté estime par conséquent que le requérant n'a pas répondu de manière complètement satisfaisante à la demande de l'ASN.**

8. VIEILLISSEMENT

Dans le cadre de la présente demande, le requérant demande un agrément du modèle de colis CTB selon le règlement de l'AIEA cité en deuxième référence qui comprend dorénavant des exigences réglementaires relatives à la prise en compte des phénomènes de vieillissement à la conception du modèle de colis, et lors des transports à l'issue des phases d'entreposage.

Le dossier de sûreté comporte ainsi un sous-chapitre relatif aux effets du vieillissement sur les performances du modèle de colis CTB. La Direction de l'expertise en sûreté estime que les éléments présentés par le requérant permettent de répondre globalement à l'objectif du nouveau paragraphe 613A du règlement en seconde référence. Cependant, afin de compléter ce sous-chapitre consacré aux effets du vieillissement et de le rendre autoportant, **il appartient au requérant de :**

- **faire référence à l'ensemble des essais et études permettant d'appuyer ses analyses, notamment pour ce qui concerne la corrosion par les composants en contact avec le mortier neutrophage, la périodicité de remplacement des joints et la fatigue des organes d'arrimage et de manutention ;**
- **couvrir l'ensemble des mécanismes de vieillissement, même ceux considérés *a priori* comme mineurs, en s'appuyant par exemple sur la matrice de justification présentée dans le projet de guide AIEA DS546 en cours de développement sur ce sujet ;**
- **présenter « un programme d'analyse des écarts décrivant une procédure systématique d'évaluation périodique des changements au niveau de la réglementation, des connaissances techniques et de l'état du modèle de colis pendant l'entreposage » conformément au paragraphe 809 k) du règlement précité.**

9. CONCLUSION

De l'examen du dossier de sûreté transmis par le CEA à l'appui de sa demande de renouvellement d'agréments, et compte tenu des informations transmises au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté estime que le niveau de sûreté du modèle de colis CTB, tel que défini dans les projets de certificat d'agrément transmis, est acceptable au regard des prescriptions de l'édition 2018 du règlement de transport des matières radioactives de l'AIEA applicable aux modèles de colis du type B chargés de matières fissiles ou non fissiles.

En outre, la Direction de l'expertise en sûreté estime que le requérant a répondu de manière satisfaisante à la plupart des demandes formulées par l'ASN à l'issue des précédentes instructions. Il reste cependant des compléments à apporter pour ce qui concerne en particulier, en CAT, le risque de talonnement du bois, le recalage du modèle numérique et le phénomène de combustion du bois des capots à la suite de l'épreuve d'incendie.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Anne-Cécile JOUVE

Adjointe du Directeur de l'expertise en sûreté