

Monsieur le Directeur de la Direction du transport et des sources

Fontenay-aux-Roses, le 3 février 2026

AVIS D'EXPERTISE N° 2026-00016 DU 3 FEVRIER 2026

Objet : Transport – Dossier d'orientation de sûreté du modèle de colis AGNÈS

Références : [1] Lettre CODEP-DTS-2025-054095 du 1^{er} septembre 2025.
[2] Règlement de transport de l'AIEA - SSR-6 - Édition de 2012.

Par lettre citée en première référence, la Direction du transport et des sources (DTS) sollicite l'avis de la Direction de l'expertise en sûreté de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) sur le dossier d'orientation de sûreté (DOS) du modèle de colis AGNÈS présenté par la société Getinge La Calhène (GLC), dénommée ci-après « le requérant ».

Le modèle de colis AGNÈS est utilisé pour le transport routier de cibles irradiées, destinées à la production de radioisotopes à usage médical, et considérées comme matières « fissiles exceptées » au sens de la réglementation citée en seconde référence. Il fait actuellement l'objet d'un certificat d'agrément en tant que modèle de colis de type B(U), dont la validité arrive à échéance le 31 octobre 2028.

Le présent avis porte sur l'orientation de sûreté présentée par le requérant dans le DOS précité afin de répondre à une demande de l'Autorité de sûreté nucléaire faisant suite à l'identification, lors du dernier renouvellement d'agrément, d'une difficulté relative à la tenue thermique du modèle de colis en conditions accidentelles de transport (CAT). L'avis vise à apprécier si l'orientation envisagée est, d'une part de nature à traiter la problématique identifiée, d'autre part compatible avec les exigences de sûreté applicables, sans introduire de régression sur les autres aspects de sûreté.

De l'évaluation des documents transmis, tenant compte des informations apportées par le requérant au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté retient les principaux éléments suivants.

1. DESCRIPTION DU MODÈLE DE COLIS

1.1. DESCRIPTION DE L'EMBALLAGE

Pour mémoire, l'emballage de forme cylindrique est muni, à chacune de ses extrémités, d'un capot amortisseur assurant à la fois une fonction de protection mécanique et de protection thermique. Les deux capots sont reliés par une virole perforée, solidaire du capot supérieur et fixée au capot inférieur.

Le corps de l'emballage est constitué, de l'intérieur vers l'extérieur, d'un fourreau métallique recevant les aménagements internes, d'une protection radiologique en plomb, de viroles en acier inoxydable et d'un isolant thermique à base de plâtre. L'enveloppe de confinement du colis est assurée par le fourreau, ainsi que par les éléments de fermeture situés aux extrémités de ce dernier, appelés brides de sécurité avant et arrière, complétés par un obturateur en partie avant (l'ensemble de ces éléments forme le système de fermeture de l'emballage). Le système de fermeture est équipé de joints toriques en élastomère de type EPDM (éthylène-propylène-diène-monomère) assurant l'étanchéité de l'emballage. Le fourreau possède quant à lui des joints métalliques lorsqu'il est constitué de trois parties et aucun joint lorsqu'il est monobloc.

Les capots amortisseurs sont constitués d'une enveloppe métallique externe équipée de dispositifs fusibles, de blocs de bois assurant l'absorption d'énergie en cas de chute, d'une tôle anti-poinçonnement, ainsi que d'une protection thermique interne en plâtre.

1.2. DESCRIPTION DES CONTENUS

Le modèle de colis AGNÈS est destiné au transport de cibles irradiées composées d'uranium. Plusieurs types de contenus ont été historiquement autorisés pour ce modèle de colis, correspondant à des cibles faiblement enrichies en U235 (LEU) ou fortement enrichies en uranium 235 (HEU). Lors du dernier renouvellement d'agrément, seules les cibles LEU ont été renouvelées dans le certificat d'agrément.

Dans le DOS, le requérant indique que les futurs transports concerneront des cibles LEU dans une configuration différente de celle actuellement autorisée, s'agissant notamment du nombre maximal de cibles transportées (passage de trois à quatre cibles au maximum) et de certaines caractéristiques radiologiques associées au contenu. Ainsi, le DOS présente des analyses tenant compte de cette évolution, en particulier pour la détermination des flux de fuite admissibles associés. Ce point est discuté au paragraphe 4 du présent avis.

1.3. DESCRIPTION DES AMÉNAGEMENTS INTERNES

Les aménagements internes du modèle de colis AGNÈS comprennent un conteneur interne assurant le maintien et le confinement des cibles irradiées, ainsi qu'un bouchon en matériaux denses assurant une fonction complémentaire de protection radiologique. Le conteneur interne comprend plusieurs logements dans lesquels sont positionnées les cibles, de manière à assurer leur maintien mécanique pendant le transport.

L'étanchéité du conteneur interne est assurée par des dispositifs équipés de joints en élastomère, distincts de l'enveloppe de confinement de l'emballage. L'ensemble des aménagements internes est inséré dans le fourreau de l'emballage. Ces aménagements jouent également un rôle dans les phénomènes de radiolyse et de montée progressive de la pression interne, qui sont pris en compte dans les analyses de confinement.

2. CONTEXTE ET OBJET DU DOSSIER D'ORIENTATION DE SÛRETÉ

Lors de l'expertise en 2020 de la demande de renouvellement d'agrément du modèle de colis AGNÈS, une difficulté majeure, à l'origine du présent DOS, a été identifiée concernant le comportement thermique du colis en CAT. En particulier, l'expertise a mis en évidence que la poursuite de la combustion du bois des capots amortisseurs à l'issue de l'incendie réglementaire de trente minutes, observée lors d'un essai antérieur réalisé sur un prototype du modèle de colis AGNÈS, était susceptible d'entraîner une élévation supplémentaire de la température des joints d'étanchéité du système de fermeture.

À cet égard, les températures calculées en CAT pour les joints en élastomère, hors prise en compte de la post-combustion, étaient déjà proches de leurs limites d'utilisation. La poursuite de la combustion du bois des capots était donc susceptible de mettre en cause la tenue en température des joints ou bien de conduire à un risque d'extrusion des joints. Par conséquent, il n'était pas garanti que le maintien de l'étanchéité de l'emballage puisse être assuré. Cette problématique a été confirmée lors des expertises ultérieures, les éléments transmis par le requérant n'ayant pas permis de démontrer de manière satisfaisante que la post-combustion du bois n'est pas de nature à affecter l'étanchéité du colis.

Dans ce contexte, le requérant a engagé une réflexion sur des évolutions possibles de la conception du modèle de colis AGNÈS afin de traiter cette difficulté. Plusieurs orientations ont été successivement évoquées par le requérant, notamment la substitution du bois des capots par un autre matériau amortisseur ou la modification du système de confinement. À l'issue de ces réflexions, le requérant présente, dans le DOS, l'orientation de sûreté consistant à remplacer les joints en élastomère du système de fermeture par des joints métalliques. Les autres dispositifs d'étanchéité du modèle de colis AGNÈS, notamment ceux associés aux aménagements internes, ne sont pas modifiés.

Ainsi, le DOS transmis vise à présenter cette orientation, à en apprécier les bénéfices à l'égard de la problématique thermique et à examiner ses conséquences sur les autres exigences de sûreté, en particulier la tenue mécanique du système de fermeture, ainsi que le confinement en conditions normales de transport (CNT) et en CAT.

Compte tenu de la température maximale d'utilisation des joints métalliques significativement plus élevée par rapport à celle des joints en élastomère, ainsi que de leur coefficient de dilatation thermique plus faible, la Direction

de l'expertise en sûreté estime que le remplacement des joints en élastomère du système de fermeture par des joints métalliques permet respectivement de s'affranchir du risque d'atteinte de la température maximale d'utilisation des joints et du risque d'extrusion en CAT. **Aussi, cette évolution apparaît conceptuellement pertinente pour traiter la problématique liée à la post-combustion du bois des capots. En tout état de cause, il appartiendra au requérant d'apporter des éléments justifiant la température d'utilisation de la nuance du joint métallique visée pour le modèle de colis AGNÈS.**

Concernant l'effet de cette évolution sur les autres aspects de sûreté, le recours à des joints métalliques induit des modifications significatives de la conception du système de fermeture, en particulier une augmentation des efforts de compression des joints requis, et, *a fortiori*, une modification du système de fixation des brides de sécurité (avant et arrière) et de l'obturateur, ainsi que des modifications des gorges de joints associées. **À cet égard, la Direction de l'expertise en sûreté souligne que la faible élasticité des joints métalliques (généralement à usage unique), comparativement aux joints en élastomère, rend leur performance d'étanchéité plus sensible aux sollicitations mécaniques et aux déformations des pièces assemblées.** Aussi, le requérant présente dans le DOS une analyse de l'influence de ces évolutions sur la tenue mécanique du modèle de colis en CAT, examinée au paragraphe 3 du présent avis.

Enfin, si le remplacement des joints en élastomère par des joints métalliques n'affecte pas directement les phénomènes de radiolyse ou la production de gaz, il joue un rôle direct dans la perméation des gaz au travers des joints, phénomène qui constitue une composante du relâchement d'activité. Le requérant a ainsi reconsidéré, au cours de l'expertise, les exigences de confinement associées au système de fermeture, notamment au travers de la définition des flux de fuite admissibles et des hypothèses de pression retenues pour les analyses de relâchement d'activité. Ces éléments, qui conditionnent les marges associées au confinement en CNT et CAT, justifient, au-delà de l'examen du comportement mécanique du système de fermeture présenté au paragraphe 3 du présent avis, l'analyse spécifique des hypothèses de confinement développée au paragraphe 4 de l'avis.

3. COMPORTEMENT MÉCANIQUE DE L'EMBALLAGE

3.1. COMPORTEMENT DU SYSTÈME DE FERMETURE EN CAS DE CHUTE

Dans le DOS, le requérant fonde la justification du maintien de l'étanchéité du système de fermeture équipé de joints métalliques, sur des calculs numériques visant à évaluer le comportement mécanique des vis du système de fermeture lors des chutes réglementaires en CNT et CAT. Ces calculs portent principalement sur l'état de contrainte des éléments de fixation du système de fermeture, en tenant compte d'adaptations à apporter liées au remplacement des joints en élastomère par des joints métalliques, notamment le renforcement de la visserie et l'augmentation des couples de serrage. Les résultats présentés montrent que, pour les configurations étudiées, les contraintes maximales dans les vis de fixation demeurent inférieures aux limites élastiques des matériaux. Sur cette base, le requérant conclut que l'intégrité mécanique du système de fermeture est assurée et que le maintien de l'étanchéité est garanti.

La Direction de l'expertise en sûreté relève toutefois que cette démonstration repose exclusivement sur l'examen des contraintes mécaniques dans les vis. Or, dans le cas d'un système de fermeture assurant une fonction d'étanchéité, et plus encore lorsqu'il est équipé de joints métalliques, il n'existe pas de corrélation directe entre le niveau de contraintes mécaniques dans les vis de fixation et la performance d'étanchéité du système, telle qu'appréciée notamment au travers du flux de fuite admissible. Dans ce contexte, la Direction de l'expertise en sûreté considère qu'une démonstration fondée uniquement sur des calculs de contraintes mécaniques dans la visserie n'est pas suffisante pour justifier le maintien de l'étanchéité dans le cadre d'un tel changement de concept de joint. Elle estime qu'une démonstration s'appuyant sur des éléments expérimentaux représentatifs du système de fermeture équipé de joints métalliques constitue, en principe, une voie privilégiée dans le cadre de l'évolution de conception envisagée. **Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté estime que la justification mécanique présentée dans le DOS, fondée uniquement sur l'analyse des contraintes dans la visserie, ne permet pas d'établir de manière robuste le maintien de l'étanchéité d'un système de fermeture équipé de joints métalliques. En cas de mise en œuvre de l'orientation de sûreté présentée, cette démonstration devrait être complétée par des éléments expérimentaux ou des justifications équivalentes adaptées.**

Dans ce contexte, le requérant a indiqué au cours de l'expertise s'appuyer sur un retour d'expérience issu d'essais réglementaires réalisés en 1997 sur un prototype du modèle de colis AGNÈS comportant des joints métalliques

situés en partie centrale du fourreau. Ces essais avaient donné lieu à des contrôles d'étanchéité jugés satisfaisants à l'issue des chutes réglementaires. Le requérant considère que ces essais constituent un élément représentatif du comportement d'un système de fermeture équipé de joints métalliques et permettent, par analogie, d'étayer la démonstration du maintien de l'étanchéité du système envisagé, sans recourir à la réalisation d'un nouvel essai spécifique.

À cet égard, la Direction de l'expertise en sûreté a interrogé la représentativité de ces essais au regard du nouveau système de fermeture faisant l'objet de la modification envisagée. En effet, les joints évalués lors des essais de 1997 étaient positionnés au centre du fourreau, tandis que les joints métalliques projetés concernent les brides avant et arrière, ainsi que l'obturateur, situés aux extrémités de l'emballage. Ces zones sont susceptibles d'être soumises à des sollicitations mécaniques différentes, et potentiellement plus pénalisantes, lors de certaines orientations de chute en CAT. **Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté estime que, si les essais de 1997 constituent un retour d'expérience utile, leur représentativité à l'égard du système de fermeture actuellement envisagé ne peut être considérée comme acquise du seul fait de la présence d'un joint métallique, compte tenu des différences de position et de sollicitations mécaniques associées.**

Sur ce point, le requérant a indiqué, au cours de l'expertise, qu'en l'absence de réalisation d'un nouvel essai représentatif sur le système de fermeture équipé de joints métalliques, la démonstration du maintien de l'étanchéité peut être étayée par des calculs numériques antérieurs complémentaires. Il indique que ces calculs peuvent être mobilisés pour apprécier, par comparaison, le comportement mécanique des zones équipées de joints métalliques projetés (brides avant, arrière et obturateur) avec celui du joint métallique évalué lors des essais réglementaires de 1997, en considérant une configuration qu'il juge pénalisante (chute horizontale sur poinçon dont l'impact se situe environ au centre de l'emballage). Le requérant met notamment en avant que les contraintes mécaniques calculées dans les éléments de fixation associés aux joints des brides seraient du même ordre de grandeur, voire inférieures, à celles associées au joint métallique situé au niveau du fourreau central lors de l'essai de référence. Il en déduit que, par analogie, le maintien de l'étanchéité du système de fermeture envisagé pourrait être considéré comme assuré sans recourir à un nouvel essai.

La Direction de l'expertise en sûreté rappelle que, dans une telle configuration, une démonstration fondée sur des calculs numériques peut être recevable en complément des éléments expérimentaux disponibles, à condition qu'elle s'appuie sur un modèle numérique dûment validé et qu'elle repose sur l'examen des paramètres mécaniques liés au maintien de l'étanchéité d'un joint métallique. En particulier, l'absence de plastification des vis ou le respect des limites élastiques des éléments de fixation ne constituent pas, à eux seuls, des indicateurs suffisants. L'appréciation du maintien de l'étanchéité nécessite en effet d'examiner, de manière comparative :

- l'évolution de l'effort résiduel dans la visserie, ou la perte de précharge induite par les séquences de chute considérées ;
- les déformations plastiques éventuelles des éléments assemblés, notamment des brides et du fourreau au voisinage des gorges de joints, susceptibles d'altérer durablement la géométrie du plan de joint ;
- et, de manière déterminante pour un joint métallique, le décollement résiduel du plan de joint, qui conditionne directement le maintien de la compression du joint. L'analyse des décollements transitoires peut également apporter un éclairage utile lorsque ceux-ci atteignent des amplitudes significatives, même s'ils ne persistent que sur de courtes durées.

À ce stade, le requérant ne présente que les contraintes dans les vis. **Aussi, en l'absence d'un essai pleinement représentatif et dans le cadre d'une démonstration numérique du maintien de l'étanchéité, la Direction de l'expertise en sûreté estime nécessaire, pour mettre en œuvre l'orientation de sûreté présentée, que le requérant présente une analyse comparative de l'ensemble des paramètres mécaniques liés au maintien de l'étanchéité d'un joint métallique.**

Par ailleurs, le requérant a évalué, au cours de l'expertise, le décollement résiduel des plans de joints en s'appuyant sur un post-traitement complémentaire issu d'un calcul numérique antérieur pour la configuration de chute horizontale sur poinçon précitée. Pour celle-ci, il indique que le décollement du plan de joint du fourreau est supérieur aux autres décollements des plans de joints du système de fermeture et conclut ainsi au maintien de l'étanchéité du système de fermeture.

Or le DOS, ainsi que le dossier de sûreté du modèle de colis AGNÈS, identifient un ensemble plus large d'orientations et de séquences de chute en CAT, pour lesquelles des analyses mécaniques sont déjà présentées et pour lesquelles les sollicitations mécaniques au niveau du système de fermeture pourraient être plus importantes que celles obtenues lors de la chute sur poinçon précitée. En l'absence d'une analyse systématique des paramètres liés au maintien de l'étanchéité d'un joint métallique, notamment le décollement résiduel des plans de joints, pour l'ensemble de ces orientations et séquences de chute déjà identifiées dans le DOS ou le dossier de sûreté, la Direction de l'expertise en sûreté considère qu'il n'est pas possible de conclure que les situations les plus pénalisantes pour le système de fermeture ont été identifiées et traitées de manière exhaustive.

Par ailleurs, la Direction de l'expertise en sûreté souligne que, en vue d'une demande d'agrément ultérieure, l'examen de séquences de chute complémentaires, telles que des combinaisons de chute libre d'une hauteur de neuf mètres et de chute sur poinçon pour des orientations différentes de celles déjà analysées, pourrait s'avérer pertinent afin de s'assurer qu'aucune configuration plus pénalisante n'est implicitement écartée. **Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté estime nécessaire, en cas de poursuite de l'orientation de sûreté présentée, que le requérant démontre le maintien de l'étanchéité en considérant l'ensemble des orientations et séquences de chute pertinentes, qu'elles soient déjà identifiées dans le dossier de sûreté ou qu'elles apparaissent nécessaires au regard de l'évolution de la conception et des mécanismes de sollicitation du système de fermeture.**

3.2. EFFET DES PRESSIONS TRANSITOIRES LIÉES À UNE DÉTONATION

La Direction de l'expertise en sûreté relève que le dossier de sûreté du modèle de colis AGNÈS n'exclut pas l'atteinte de conditions d'inflammabilité des gaz produits par radiolyse. Celle-ci est susceptible de générer une surpression transitoire dans la cavité, pouvant affecter le maintien de la compression des joints métalliques. Une telle surpression pourrait en effet induire un décollement transitoire ou résiduel des plans de joints, avec un impact direct sur la performance d'étanchéité et, par conséquent, sur le flux de fuite maximal admissible. Cette sensibilité est particulièrement marquée pour les joints métalliques (par rapport aux joints en élastomère), pour lesquels une perte même limitée de compression peut avoir un impact direct sur la performance d'étanchéité.

À cet égard, le requérant a indiqué, au cours de l'expertise, qu'une onde de détonation de type Chapman–Jouguet¹ ne pourrait pas se développer dans l'enceinte réelle du colis, compte tenu de sa géométrie interne et de la présence d'obstacles.

La Direction de l'expertise en sûreté considère que l'enjeu ne réside pas dans la détermination précise de la pression maximale susceptible d'être générée dans un scénario de détonation idéalisé, mais dans la justification de l'absence de prise en compte de toute surpression transitoire dans l'analyse du confinement. En effet, dès lors que l'atteinte de la limite inférieure d'inflammabilité est reconnue comme physiquement possible, un phénomène de combustion rapide, qu'il relève d'un régime déflagrant ou fortement amorti, est susceptible d'engendrer une augmentation de la pression interne. **Aussi, dès lors que l'atteinte de conditions d'inflammabilité n'est pas exclue, la Direction de l'expertise en sûreté estime nécessaire, en cas de poursuite de l'orientation de sûreté présentée, que le requérant prenne en compte les surpressions transitoires susceptibles d'être générées, au regard de leurs effets potentiels sur le décollement des plans de joints et sur le maintien de la compression des joints métalliques.**

L'examen de la cohérence des hypothèses retenues pour l'analyse du confinement avec les points précités fait l'objet du paragraphe suivant.

4. CONFINEMENT

4.1. HYPOTHÈSE DE PRESSION EXTÉRIEURE

Dans le DOS, le requérant modifie l'hypothèse de pression extérieure retenue pour les analyses de confinement, en se fondant sur des exemples d'itinéraires empruntés par le modèle de colis AGNÈS et sur l'absence de transport vers des zones de forte altitude. Il s'écarte ainsi de l'hypothèse générique de pression extérieure

¹ La condition de Chapman–Jouguet décrit approximativement les ondes de détonation dans les explosifs brisants. Elle établit que la détonation se propage à une vitesse telle que les gaz réagissant atteignent juste la vitesse du son (sur le front de l'onde de choc) lorsque la réaction cesse.

minimale de 60 kPa prévue par la réglementation applicable, et retient une valeur moins pénalisante, proche de la pression atmosphérique (environ 100 kPa), correspondant aux conditions d'utilisation anticipées pour le colis.

La Direction de l'expertise en sûreté rappelle que le cadre réglementaire applicable est fixé par le règlement cité en seconde référence, lequel définit des conditions d'environnement enveloppes applicables aux colis de type B, indépendamment des itinéraires effectivement envisagés. À cet égard, le paragraphe 645 du SSR-6 impose la prise en compte d'une pression extérieure minimale de 60 kPa.

Le guide SSG-26 précise que cette exigence vise à prévenir toute défaillance de l'emballage liée à un différentiel de pression externe réaliste et indique explicitement que les calculs de relâchement d'activité doivent considérer une pression ambiante réduite à 60 kPa. Par ailleurs, le guide SSG-66, relatif à l'élaboration du dossier de sûreté, mentionne explicitement que la réduction de la pression ambiante à 60 kPa doit être prise en compte dans l'évaluation du relâchement d'activité dans le cadre de l'analyse de conception du confinement.

En conséquence, la Direction de l'expertise en sûreté estime que le fait de retenir une pression extérieure supérieure à 60 kPa ne permet pas d'établir la conformité du modèle de colis AGNÈS aux exigences du règlement cité en seconde référence applicables aux modèles de colis de type B(U).

4.2. HYPOTHÈSES DE RADIOLYSE, DE MONTÉE EN PRESSION ET DE RELÂCHEMENT D'ACTIVITÉ

La Direction de l'expertise en sûreté a examiné les hypothèses retenues pour les calculs de relâchement d'activité, en particulier celles relatives à la radiolyse, à la cinétique de montée en pression interne et aux scénarios de combustion ou de surpression transitoire (détonation). Au stade du DOS, cet examen vise à apprécier la cohérence d'ensemble des hypothèses retenues par le requérant, sans préjuger des analyses détaillées qui devront être menées dans le cadre d'une demande ultérieure d'agrément du modèle de colis AGNÈS.

Les éléments présentés dans le DOS montrent que le requérant privilégie, pour l'analyse du confinement, des scénarios de montée progressive de la pression interne liés aux phénomènes de dégagement gazeux et d'élévation de température, considérés comme plus probables que l'occurrence d'une onde de détonation. À cet égard, la Direction de l'expertise en sûreté considère qu'il n'est pas pertinent d'exclure un phénomène sur une hypothèse probabiliste. **Aussi, la Direction de l'expertise en sûreté estime nécessaire, en cas de poursuite de l'orientation de sûreté présentée, que le requérant retienne l'hypothèse la plus pénalisante pour l'évaluation des flux de fuite admissible en CNT et en CAT.**

En outre, la Direction de l'expertise en sûreté a examiné la validité des hypothèses physiques retenues pour modéliser la montée en pression interne et les échanges entre les différents volumes de l'enceinte de confinement. À cet égard, dans le DOS, le requérant évalue la montée en pression dans les différents volumes de l'enceinte de confinement en s'appuyant sur la loi des gaz parfaits appliquée à chaque volume, puis sur des scénarios d'équilibrage de pression entre volumes fondés sur la loi de Boyle-Mariotte. Cette approche repose implicitement sur l'hypothèse que les volumes concernés peuvent être considérés comme étanches entre eux sur des durées significatives, avant l'atteinte d'un équilibre de pression. La Direction de l'expertise en sûreté relève toutefois que cette hypothèse constitue un point structurant de la démonstration, en particulier dans un contexte où le volume contenant la matière radioactive est initialement en dépression et en communication mécanique avec d'autres volumes à pression extérieure. Or le dossier ne comporte pas d'analyse spécifique des mécanismes d'échange susceptibles d'intervenir entre ces volumes, notamment au travers des joints d'étanchéité internes en élastomère de type EPDM, que ce soit par perméation ou par des fuites assimilables à un écoulement capillaire. Dans la mesure où la démonstration du relâchement d'activité repose par ailleurs sur l'existence de flux de fuite non nuls, évalués à l'aide de l'équation généralisée de Knudsen², **il appartiendra au requérant de justifier le domaine de validité des hypothèses retenues pour l'application de la loi de Boyle-Mariotte, notamment celles relatives à l'isolement supposé des différents volumes de l'enceinte de confinement, en cohérence avec les flux de fuite admissibles considérés dans les analyses de relâchement.**

² Équation, issue de la norme ISO 12807, permettant d'estimer le débit de fuite à travers un joint en modélisant l'écoulement d'un gaz dans un canal équivalent, en combinant les régimes visqueux et moléculaire.

4.3. FLUX DE FUITE ADMISSIBLE EN CAT

Dans la mesure où les joints métalliques jouent un rôle dans la perméation des gaz, le requérant a reconsidéré, au cours de l'expertise, les exigences de confinement associées au système de fermeture, notamment au travers de la définition des flux de fuite admissibles pris en compte dans les analyses de relâchement d'activité et tenant compte de l'évolution du contenu à transporter. À cet égard, le requérant a réévalué le flux de fuite admissible en CAT. La Direction de l'expertise en sûreté relève que la valeur obtenue devient proche du critère de taux de fuite mesuré avant transport, alors que plusieurs décades d'écart avec ce critère figurent dans la démonstration du dossier de sûreté en vigueur.

La Direction de l'expertise en sûreté rappelle que le flux de fuite retenu dans les analyses de relâchement d'activité correspond au flux maximal admissible, c'est-à-dire à la valeur au-delà de laquelle le critère réglementaire de relâchement d'activité serait dépassé. À ce titre, un flux admissible faible au regard du critère de taux de fuite mesuré avant transport induit une exigence renforcée en matière de performance de l'étanchéité du système de fermeture du fait de marges dès lors plus réduites. Ceci nécessite, en conséquence, une démonstration mécanique plus robuste, notamment au regard des sollicitations rencontrées en CAT. Par ailleurs, le retour d'expérience de chutes libres en CAT de spécimens équipés de joints métalliques montre que le taux de fuite mesuré avant et après l'essai peut varier d'une ou plusieurs décades. **Compte tenu du niveau de flux de fuite admissible désormais estimé en CAT par le requérant, la Direction de l'expertise en sûreté souligne l'importance que la démonstration mécanique du maintien de l'étanchéité présentée au paragraphe 3 soit en adéquation avec ce niveau d'exigence, afin d'assurer une cohérence globale entre les hypothèses mécaniques et les hypothèses de relâchement d'activité.**

5. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés et tenant compte des informations apportées par le requérant au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté estime que l'orientation de sûreté présentée par le requérant, consistant à remplacer les joints en élastomère du système de fermeture du modèle de colis AGNÈS par des joints métalliques, apparaît conceptuellement pertinente pour répondre à la problématique de tenue thermique identifiée lors des expertises précédentes, en particulier à l'égard du risque de post-combustion du bois des capots amortisseurs en CAT.

Nonobstant, cette orientation constitue une modification significative du système de confinement et de la démonstration mécanique pour le maintien de l'étanchéité, eu égard notamment à la grande sensibilité des joints métalliques aux sollicitations mécaniques et aux déformations des pièces assemblées. Or les éléments transmis dans le cadre du dossier d'orientation de sûreté ne sont pas suffisants, à ce stade, pour démontrer que le comportement mécanique du modèle de colis AGNÈS garantit l'absence de dépassement du flux de fuite admissible en CAT.

Aussi, en cas de mise en œuvre de l'orientation de sûreté présentée, la Direction de l'expertise en sûreté estime nécessaire que le requérant apporte, en tenant compte des remarques formulées dans le présent avis, des justifications complémentaires adaptées.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Anne-Cécile JOUVE

Adjointe au Directeur de l'expertise en sûreté