

Monsieur le Directeur de la Direction du transport et des sources

Fontenay-aux-Roses, le 1^{er} juin 2026

AVIS D'EXPERTISE N° 2026-00060 DU 1^{ER} JUIN 2026

Objet : Transport interne - Centre CEA de Cadarache
Règles techniques d'exploitation du modèle de colis ISO 20 pieds modifié

Références : [1] Lettre ASNR CODEP-DTS-2026-007866 du 20 mars 2026.
[2] Règles générales des transports internes et intra-centre de substances radioactives (RGTI) de Cadarache de 2022.

Par la lettre citée en première référence, la Direction du transport et des sources (DTS) de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) sollicite l'avis de la Direction de l'expertise en sûreté de l'ASNR sur la demande d'autorisation de modification notable, déposée par le Commissariat à l'énergie atomique (CEA) dénommé ci-après « l'exploitant », des règles techniques d'exploitation du modèle de colis ISO 20 pieds modifié chargé de sept fûts de 870 litres contenant des déchets solides irradiants en vrac ou compactés enrobés dans une matrice en mortier (contenus n° 1, 2, 3) ou en ciment-bitume (contenus 7 et 8) pour des transports internes sur le site de Cadarache entre les installations nucléaires de base (INB) n° 37A, n° 56, n° 156 et n° 164.

La modification concerne la possibilité de transporter des fûts, du contenu n°3, sans épaisseur minimale de mortier en périphérie des déchets compactés, ainsi que des évolutions des mesures compensatoires mises en œuvre lors des transports de ce modèle de colis.

La DTS demande d'examiner les démonstrations du CEA relatives à la radioprotection et à la criticité (pour le contenu n° 3), ainsi que les évolutions des mesures compensatoires (relatives à tous les contenus précités) au regard des prescriptions des règles générales des transports internes et intra-centre (RGTI) applicables sur le site CEA de Cadarache citées en seconde référence.

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

1. DESCRIPTION DU MODÈLE DE COLIS

Pour mémoire, le conteneur ISO 20 pieds modifié est composé d'un corps de forme parallélépipédique en acier comportant une porte latérale équipée d'un système de fermeture. Les contenus constitués de fûts cylindriques 870 litres sont chargés de déchets solides irradiants en vrac ou compactés enrobés dans une matrice en mortier (contenus n° 1, 2, 3) ou en ciment-bitume (contenus n° 7, 8).

En particulier, le contenu n° 3 correspond à des déchets solides technologiques compactés à la presse de 500 tonnes. Pour ce contenu, les fûts 870 litres sont constitués d'une enveloppe cylindrique en acier, soudée en partie inférieure à un fond plat en acier. En partie supérieure, une collerette en acier soudée à l'intérieur de l'enveloppe cylindrique assure le maintien du couvercle, lequel est équipé sur sa face interne d'une virole de clippage venant en prise avec la collerette interne. Par ailleurs, l'étanchéité entre le couvercle et le corps est assurée par un joint en mousse néoprène collé sur la face interne du couvercle. Le mortier des fûts fait partie de l'enveloppe de confinement, de la protection radiologique et participe à la prévention des risques de criticité.

Dans le cadre de la présente demande, le CEA introduit la possibilité d'avoir une épaisseur latérale de mortier localement nulle pour le contenu n° 3. En effet, en réponse à la demande de l'autorité de sûreté nucléaire (ASN) relative à la maîtrise d'une épaisseur minimale de mortier en périphérie des déchets compactés, l'exploitant a indiqué que la garantie d'une telle épaisseur nécessiterait une modification notable du cœur de procédé. Aussi, en s'appuyant sur une mise à jour de la démonstration de sûreté, l'exploitant introduit la possibilité d'une épaisseur radiale de mortier nulle pour le contenu n° 3.

Par ailleurs, la manutention du fût de 870 litres s'effectue par l'intermédiaire des oreilles de levage ou à l'aide d'une pince s'appuyant sur la virole externe. Les sept fûts de 870 litres sont placés verticalement dans sept viroles en acier inoxydable soudées au plancher du conteneur ISO 20 pieds modifié. Le maintien de ces viroles sur le plancher est assuré par la présence des goussets en acier inoxydable par virole, soudés sur la surface externe de chaque virole et soudés au plancher. L'emballage est transporté en position horizontale sur le plateau d'une semi-remorque.

2. RADIOPROTECTION

Dans le cadre de la présente demande, l'exploitant a mis à jour l'analyse de radioprotection pour le contenu n°3, en considérant la matière radioactive des déchets compactés décentrée dans les fûts de 870 litres, ce qui conduit localement à une épaisseur de mortier nulle entre ces déchets et le fût.

Les calculs de débit d'équivalent de dose (DED) sont réalisés au contact d'un fût en intégrant les activités des radionucléides, l'intensité d'émission neutronique ainsi qu'un coefficient de multiplication neutronique forfaitaire. Des coefficients unitaires de DED, déterminés pour la géométrie considérée à l'aide d'un code de transport de particules, sont utilisés dans cette étude afin d'établir une correspondance entre le DED au contact d'un fût et le respect des critères réglementaires au contact et au voisinage du colis. En conséquence, une valeur maximale de DED au contact d'un fût est définie à des fins opérationnelles de manière à garantir, lors du chargement de plusieurs fûts dans le conteneur ISO 20 pieds modifié, le respect des exigences réglementaires de radioprotection en conditions de transport de routine (CTR) et en conditions accidentelles de transport (CAT). Avant transport, la conformité de chaque fût est vérifiée par une mesure du DED à son contact, en s'assurant que la valeur mesurée reste inférieure à la limite fixée. Enfin, le retour d'expérience de plus de plusieurs dizaines de transports internes montre que l'activité retenue dans l'étude de radioprotection est significativement supérieure aux activités maximales ayant été transportées. **Cette méthode n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

Par ailleurs, le requérant vérifie également le respect des critères réglementaires au contact et au voisinage du colis en prenant compte une protection complémentaire en acier inoxydable et un DED au contact du fût trois fois supérieure à la valeur opérationnelle retenue sans protection. **Ceci n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

Enfin, l'exploitant n'évalue pas explicitement l'augmentation du DED en conditions normales de transport (CNT). En effet, il considère qu'ils sont identiques à ceux en CTR, étant donné que les déchets sont immobilisés dans une matrice en mortier, limitant tout déplacement et que, à la suite des épreuves des conditions normales de transport, le modèle de colis est resté intègre et que la tenue mécanique des systèmes de calage des fûts est démontrée. Ainsi, l'exploitant conclut que le critère réglementaire d'absence d'augmentation de plus de 20 % des DED autour de l'emballage entre les CTR et les CNT est respecté. **Cette conclusion n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

3. PRÉVENTION DES RISQUES DE CRITICITÉ

Dans le cadre de la présente demande, l'exploitant a mis à jour la démonstration de criticité afin d'intégrer la modification liée au contenu n° 3. Dans son analyse, il retient comme milieu fissile de référence du plutonium 239 métallique (^{239}Pu) modéré de façon homogène par du polyéthylène (CH_2) de densité maximale (0,96) en quantité quelconque. Ce choix permet de couvrir la présence éventuelle de polyéthylène de haute densité (PEHD), tout en modélisant un mélange homogène malgré la nature solide de ces matériaux.

La masse de matière fissile totale (^{235}U + Pu total) est limitée à une certaine valeur par fût de 870 litres, toutes incertitudes comprises. Bien que la matière fissile soit en réalité fractionnée dans les déchets compactés, de façon enveloppe, l'exploitant modélise la totalité de la masse fissile contenue dans le fût de 870 L sous la forme d'une sphère unique, centrée radialement dans ce dernier. L'exploitant souligne que cette modélisation est purement calculatoire et conservatrice. Il précise en effet qu'un fût de 870 L contient environ 32 fûts primaires compactés, chacun d'eux ayant une limite individuelle de 10 g de matières fissiles. Par ailleurs, ces fûts compactés et les matières fissiles contenues sont bloqués dans un liant hydraulique, empêchant physiquement toute possibilité de décentrage et regroupement de matières. Axialement, la sphère de matière fissile dans les fûts de 870 L est considérée, soit centrée, soit décentrée vers le bas ou vers le haut pour le cas du colis isolé, et, positionnée de manière à optimiser le rapprochement des matières fissiles des colis adjacents dans le cas du réseau de colis. Les espaces à l'intérieur de la cavité situés autour de la matière fissile sont remplis, selon les cas de calcul, par du béton de teneur en eau variable ou un brouillard d'eau de densité variable. **La modélisation de la matière fissile dans les fûts de 870 L retenue n'est pas identique à celle adoptée dans la démonstration de sûreté de l'INB n° 164 pour les déchets compactés (modélisation de l'empilement de galettes par un cylindre fissile décentré axialement et radialement). Toutefois, la Direction de l'expertise en sûreté estime que, dans la mesure où le dossier de sûreté indique une limite de masse de matière fissile par déchet compacté très significativement inférieure à la masse totale de matières fissiles autorisée par fût de 870 L, la matière fissile peut être considérée comme globalement répartie de façon homogène dans le fût de 870 L et donc modélisable par une sphère centrée radialement.**

En outre, l'étude de criticité ne modélise pas de réflecteurs neutroniques spécifiques tels que le béryllium ou le graphite. L'exploitant justifie cette absence par le fait que l'immobilisation des déchets dans le mortier empêche physiquement tout regroupement de tels matériaux autour de la sphère fissile. **Dans la mesure où la matière fissile est répartie dans les colis, la Direction de l'expertise en sûreté estime que l'absence de prise en compte de ces matériaux en tant que réflecteur est acceptable.**

Les calculs de criticité réalisés par l'exploitant portent, d'une part sur un colis isolé endommagé, d'autre part sur un réseau de 5N colis en CNT et de 2N colis en CAT. En CAT, le conteneur ISO 20 pieds et les fûts sont considérés intègres, avec une épaisseur latérale de mortier latérale prise nulle à l'intérieur des fûts ; en revanche, la tenue mécanique des systèmes de calage des fûts n'est pas garantie et la position des fûts dans le conteneur est quelconque. Ces hypothèses reposent sur des essais de chute des CAT (pour lesquels une épaisseur de mortier latérale existe) et des simulations numériques (pour lesquelles une épaisseur latérale de mortier est considérée nulle). L'exploitant considère que les déformations localisées observées dans ces conditions ne modifient pas significativement la géométrie du colis et ne sont pas de nature à mettre en cause les conclusions de l'étude de criticité. L'exploitant a également étudié l'influence de plusieurs paramètres sur la réactivité, notamment la position axiale du milieu fissile dans les fûts, celles des fûts dans le conteneur, ainsi que la teneur en eau des matrices d'enrobage en mortier. Les résultats obtenus montrent que les critères d'admissibilités retenus en colis isolé ($k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,95$) et en réseau de colis ($k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,98$) sont respectés dans l'ensemble des configurations considérées. **La démarche ainsi que les résultats n'appellent pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

4. MESURES COMPENSATOIRES

Pour mémoire, le CEA retient des mesures compensatoires afin de limiter l'occurrence de toutes situations accidentelles en cours de transport et pallier l'absence de démonstration de sûreté en CAT. En particulier, le transport est toujours limité à une vitesse de 20 km/h et avec une escorte composée de deux véhicules placés respectivement à l'avant et à l'arrière du convoi ; ces véhicules sont notamment équipés d'un moyen de communication avec la Force locale de sécurité (FLS) et d'au moins deux extincteurs de poudre.

Dans le cadre de la présente demande, l'exploitant sollicite la suppression, pour le contenu n° 3, de deux mesures compensatoires actuellement imposées dans le dossier de sûreté du colis, relatives :

- à la durée de séjour du modèle de colis, chargé des contenus immobilisés dans une matrice en mortier, hors d'une zone contrôlée, limitée à 24 heures. Selon l'exploitant, cette mesure relève de l'analyse de

relâchement d'activité, désormais fondée sur des essais de chute des fûts 870 L d'une hauteur de 5 m ayant mis en évidence l'absence de dispersion de matière radioactive. Selon les RGTI citées en seconde référence, « *les emballages contenant des colis de déchets bloqués dans une matrice en béton peuvent, en ce qui concerne les aérosols, s'affranchir de la démonstration du respect du critère de relâchement à la suite des épreuves représentatives des CNT et des CAT, à condition qu'il soit constaté qu'aucune dispersion de matière radioactive n'ait lieu à l'issue d'essais de chute réalisés directement sur le colis de déchets bloqués d'une hauteur au moins équivalente à celle qui s'appliquerait sur l'emballage chargé* ». Les résultats de ces essais montrent effectivement l'absence de dispersion de matière sur la dalle d'essai, qu'il s'agisse de déchets ou de mortier, à la suite des épreuves de chutes représentatives des CNT et majorantes des CAT. **Cette suppression n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté ;**

- aux contrôles renforcés d'arrimage du colis effectué avant expédition, le blocage de la circulation dans les deux sens sur la portion de route sur laquelle se trouve le convoi, ainsi que l'arrêt manuel des véhicules tiers. Ces dispositions avaient été mises en œuvre lors d'une précédente expertise, en raison du fait que l'ancienne démonstration de criticité ne permettait pas d'exclure le risque de basculement du colis en cas de défaillance de l'arrimage ou de collision. L'exploitant justifie leur suppression par l'évolution de la démonstration de criticité, qui prend désormais explicitement en compte les conséquences d'une chute en conditions accidentelles de transport. **Cette suppression n'appelle pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.**

Enfin, la mesure compensatoire pour le transport des fûts 870 litres : « *aucun véhicule ou engin lourd ne circule et aucun transport d'hydrocarbure n'est effectué sur le trajet emprunté par le colis* » est décomposée désormais de la manière suivante :

- « *dans le cas des contenus n°7 et 8, aucun véhicule ou engin lourd ne circule* » : l'exploitant ne maintient cette mesure que pour ces deux contenus. Pour les autres contenus, enrobés dans une matrice de mortier, il considère que les sollicitations mécaniques résultant d'une collision avec un véhicule ou un engin lourd sont couvertes par les chutes réglementaires en CAT. À cet égard, les nouvelles simulations numériques réalisées spécifiquement pour ces contenus montrent que les endommagements subis par le colis à l'issue des chutes en CAT n'entraînent ni mise à nu du mortier, ni mise à découvert des déchets ;
- pour les contenus n°1, 2 et 3, « *en cas de croisement avec un transport d'hydrocarbure, l'un ou l'autre des transports est arrêté par l'escorte* ». Selon l'exploitant, cette disposition suffit à limiter le risque de collision et par conséquent, le risque d'épandage d'hydrocarbure consécutif à un accident.

Compte tenu des autres mesures compensatoires maintenues par ailleurs, ces évolutions n'appellent pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.

5. CONCLUSION

Sur la base des documents examinés et en tenant compte des informations transmises par l'exploitant au cours de l'expertise, la Direction de l'expertise en sûreté estime que l'évolution de l'épaisseur latérale du mortier du contenu n° 3 du modèle de colis ISO 20 pieds modifié ne met pas en cause la maîtrise des risques liés à la radioprotection et la criticité. En outre, les évolutions des mesures compensatoires proposées par l'exploitant n'appellent pas de remarque de la Direction de l'expertise en sûreté.

Pour le Directeur de l'expertise en sûreté

Anne-Cécile JOUVE

Adjointe au Directeur de l'expertise en sûreté