

Fontenay-aux-Roses, le 15 décembre 2022

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2022-00234

Objet : Orano – Colis CSD-C HAO – Tri et détection des coques longues

Réf. : Lettre CODEP-DRC-2022-037244 du 8 août 2022

Par lettre citée en référence, l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a sollicité l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) sur l'étude d'Orano relative au tri et à la détection des coques longues au cours des opérations de reprise et de conditionnement des déchets (RCD) du silo haute activité oxyde (HAO) et du stockage organisé des coques (SOC) du site de La Hague. Cette étude vient en complément à la demande d'accord de conditionnement de ces déchets en colis standards de déchets compactés HAO (colis CSD-C HAO). L'ASN demande plus particulièrement à l'IRSN d'analyser la robustesse des hypothèses retenues par Orano pour déterminer l'efficacité du procédé de tri et l'impact sur la spécification de conditionnement du colis CSD-C HAO de la présence de matière fissile résiduelle dans les coques longues non détectées.

Contexte

En 2015, en support à sa demande d'accord de conditionnement, Orano a déposé un référentiel de conditionnement des colis CSD-C HAO, dans lesquels doivent être conditionnés, après reprise, les coques et les embouts entreposés en vrac dans le silo HAO et en curseurs¹ dans les piscines du SOC. Les opérations de reprise et de traitement des déchets sont effectuées en cellule de reprise par télémanipulation. Ainsi, les déchets du silo HAO sont repris par grappées d'environ 60 L puis déversées sur une table de tri. Pour les curseurs du SOC, la reprise des déchets consiste au déversement de leur contenu sur la table de tri. Les coques et les embouts sont ensuite lavés et triés, puis introduits en panier ECE² pour être transférés vers l'atelier de compactage des coques (ACC). La masse de matière fissile dans les paniers ECE est mesurée plusieurs fois au cours de leur remplissage par un poste d'interrogation neutronique active (INA) intégré dans la cellule de reprise. Lorsqu'un panier est rempli ou que la limite de masse de matière fissile est atteinte, celui-ci est transféré, en fût ECE, vers l'atelier de compactage des coques (ACC).

¹ Conteneur cylindrique en acier inoxydable, de hauteur utile 1100 mm et de volume utile 140 L.

² Les paniers et les fûts ECE ont été utilisés entre 1995 et 2002 pour l'entreposage sous eau des coques et des embouts (ECE) issus des usines UP3 et UP2-800 et sont réutilisés dans le cadre de la reprise des déchets du silo HAO.

Dans les années 1980, des opérations de prélèvement de coques³ ont montré la présence de coques de longueur supérieure à 200 mm (dites « coques longues »), susceptibles de contenir du combustible indissous. Or, compte tenu des caractéristiques du colis CSD-C HAO, les coques susceptibles de contenir du combustible indissous ne peuvent être conditionnées en l'état. Dans son avis n°2017-00330 du 19 octobre 2017 portant sur le référentiel de conditionnement du colis CSD-C HAO, l'IRSN avait ainsi recommandé qu'Orano mette en œuvre un dispositif permettant de s'assurer de l'absence de coques longues dans le flux de coques et d'embouts à destination de l'ACC. En réponse à cette demande, Orano a réalisé des essais en inactif afin d'étudier la faisabilité de séparer les coques longues du flux de coques et d'embouts à destination de l'ACC. Ceci l'a conduit à ajuster son protocole de reprise et de traitement des coques et des embouts et à évaluer les performances du tri et de la détection des coques longues.

Le présent avis traite successivement : (i) de la fiabilité des données disponibles sur les coques longues, (ii) de l'efficacité du procédé de tri des coques longues et (iii) de l'impact de la présence de matières fissiles résiduelles dans les coques longues non détectées.

Données disponibles sur les coques longues

Lors des opérations d'assainissement de la piscine 907⁴, une centaine de coques longues a été récupérée en fond de piscine. Ces coques longues présentent des longueurs variées, d'une quinzaine de centimètres à plus d'un mètre, et peuvent être vides, partiellement ou totalement pleines de combustible indissous sous forme durcie. Leur taux de remplissage moyen est de 55,2 %, mais aucune corrélation entre la longueur des coques et leur taux de remplissage n'a été observée. Orano estime toutefois que ce retour d'expérience n'apporte pas d'éléments relatifs à la répartition des longueurs de coques longues, ni à leur quantité, dans le silo HAO et dans les curseurs du SOC. Orano précise par ailleurs que les coques du silo HAO et des curseurs du SOC ne peuvent pas dépasser 1100 mm, soit la hauteur utile d'un curseur⁵. Orano rappelle enfin que les quantités de coques longues dans le silo HAO et dans les curseurs du SOC sont difficilement estimables et fait l'hypothèse d'une longueur cumulée de coques longues de 1100 mm par équivalent curseur (i.e. pour 140 L de coques et d'embouts). Au cours de l'expertise, Orano a précisé que cette hypothèse est basée sur l'évaluation, à partir de données historiques, de la quantité de matière fissile déversée dans le silo HAO au cours de son exploitation, et en considérant que l'intégralité de la matière fissile est présente dans le combustible indissous des coques longues (c'est-à-dire non répartie entre les coques et les fines de dissolution⁶).

L'IRSN estime que les données acquises lors de l'exploitation du retour d'expérience de la piscine 907 apportent des connaissances utiles sur l'état du combustible indissous et le taux de remplissage des coques longues. En revanche, au cours de l'expertise, Orano a indiqué que ce retour d'expérience n'était pas représentatif de la répartition des longueurs de coques longues dans le silo HAO ou dans les curseurs du SOC, ce dont l'IRSN convient. Enfin, l'IRSN relève qu'Orano n'a pas justifié son hypothèse de longueur cumulée de coques longues par équivalent curseur. En particulier, l'IRSN note que la nature des données historiques à l'appui de cette hypothèse, le degré de confiance associé et leur lien avec la valeur de 1100 mm de longueur cumulée par équivalent curseur n'ont pas été précisés. **Or, l'IRSN souligne l'enjeu associé à cette hypothèse déterminante dans l'évaluation de la masse de matière fissile résiduelle due aux coques longues non détectées. En effet, la sous criticité du colis CSD-C HAO repose sur la limitation de la masse de matière fissile.** Ce point fait l'objet de la recommandation n°1 en annexe du présent avis.

³ Opérations COQUENSTOCK (prélèvement dans le silo HAO et en fond de panier dissolveur).

⁴ Piscine utilisée pour la mise en curseur et l'entreposage des tronçons de crayons (coques) traitées dans l'atelier HAO.

⁵ Bien que les coques soient actuellement entreposées en vrac dans le silo HAO, celles-ci ont été transférées en curseur entre l'atelier de découpe et de traitement et le silo HAO.

⁶ Éléments insolubles générés lors de la dissolution du combustible.

Evolution du protocole de reprise et performances de tri associées

Afin d'améliorer la détection et le tri des coques longues et de les écarter du flux de coques et d'embouts à destination de l'ACC, Orano a ajouté plusieurs étapes au protocole de reprise et de traitement des coques et des embouts. Pour les déchets du silo HAO, après dépôt d'une grappée (environ 60 L) sur la table de tri et retrait des embouts, les coques sont étalées et lavées avec un peigne de lavage. Lors de cette première étape, elles font l'objet d'un premier tri, puis sont mises en tas d'un côté de la table. Ce tas est ensuite trié par étalements successifs des coques avec un râteau faisant office de gabarit. Les opérations, réalisées par télémanipulation, sont suivies *via* un hublot et une caméra. Pour les déchets des piscines du SOC, un tri similaire a lieu après déversement progressif contrôlé par caméra du contenu d'un curseur (140 L), afin de limiter la quantité de coques présentes sur la table. Lorsqu'une coque longue est repérée, celle-ci est prélevée et acheminée à un poste de découpe. La partie vide de la coque est cisailée en tronçons de 200 mm renvoyés dans le flux à destination de l'ACC. La partie pleine est cisailée en tronçons de 35 mm, collectés dans des boîtes coques longues, entreposées en curseurs dans les piscines du SOC dans l'attente de leur traitement ultérieur, encore à l'étude par Orano. Le retour d'expérience de l'assainissement de la piscine 907 a été utilisé par Orano pour améliorer le protocole de reprise et de traitement des coques, comme la mise en œuvre d'une sonde pour détecter la frontière vide/plein des coques longues ou la conception d'une cisaille adaptée au caractère durci du combustible indissous présent dans les coques longues, le cas échéant.

Afin d'optimiser le protocole de détection et de tri des coques longues et d'évaluer ses performances, Orano a réalisé des essais en inactif sur les équipements définitifs (table de tri, basculeur des curseurs, etc.) montés sur une maquette et en conditions réelles (télémanipulation, vision par hublot ou par caméra, etc.). Les grappées d'essais contiennent environ 80 L de coques (volume enveloppe attendu par Orano pour une grappée en exploitation) et les curseurs d'essais en contiennent 140 L. Des coques longues, de 200 mm à 1000 mm, sont introduites en quantités et longueurs cumulées variables. Le reste des coques présente des longueurs majoritairement comprises entre 35 mm⁷ et 50 mm, et quelques coques présentent des longueurs de 150 mm à 190 mm. Orano estime que l'introduction de coques de longueur intermédiaire est pénalisante pour l'efficacité du tri. Trois phases d'essais ont été réalisées par Orano. La première phase a consisté à réaliser trois essais en configuration HAO, dits préliminaires, pour tester un premier râteau, qui ne s'est pas avéré suffisamment ergonomique. Au cours de la deuxième phase, trois essais en configuration SOC et deux essais en configuration HAO, dits exploratoires, ont été réalisés. Ces essais ont permis à Orano d'établir un protocole de tri propre à chaque configuration et de tester différents outils (griffes, caillebotis). L'utilisation d'un caillebotis a été écartée suite à ces essais, et l'un des outils de tri testé a été retenu (râteau pouvant faire office de gabarit). Enfin, lors de la troisième phase, sept essais (trois en configuration SOC et quatre en configuration HAO), dits optimisés, ont été réalisés, afin de valider le protocole et les outils définitifs. Ces essais successifs ont également permis à Orano d'améliorer les moyens de vision de la table de tri et de modifier les automatismes de conduite (par exemple, basculement fractionné des curseurs). Enfin, les performances du protocole de tri ont été évaluées sur les neufs derniers⁸ essais réalisés par Orano. Pour ces essais, la totalité des coques de longueur supérieure ou égale à 300 mm a été détectée et en moyenne 91 % de la longueur cumulée de coques longues a été détectée. Sur cette base, Orano retient une performance moyenne de détection de la longueur cumulée de coques longues de 91 % et une performance pénalisante de 70 %.

Par rapport au protocole de reprise des coques longues présenté en 2015, l'IRSN note que les dispositions de découpe et d'entreposage de ces coques longues ont été précisées. En particulier, Orano a mis au point le protocole de découpe sur la base des données issues du retour d'expérience des opérations d'assainissement de la piscine 907. L'IRSN souligne toutefois qu'à ce stade, Orano n'a pas proposé de filière de gestion pour les tronçons de coques longues contenant du combustible indissous. L'IRSN note également qu'Orano a ajouté à son

⁷ 35 mm correspond au pas de coupe nominal pour le cisailage des coques dans l'atelier HAO.

⁸ Ces neufs essais correspondent aux deux derniers essais de la deuxième phase et aux sept essais de la troisième phase.

protocole de reprise une étape de tri manuel, par la mise en tas puis l'étalement des coques sur la table de transfert, pour détecter les coques longues. Suite à trois campagnes d'essais en inactif, Orano a optimisé ce protocole en retenant les outils les plus efficaces (râteau), en améliorant les moyens de vision des opérateurs ou encore en modifiant des automatismes de conduite (basculement fractionné des curseurs). **L'IRSN convient que ces améliorations du protocole de tri sont de nature à limiter la quantité de coques longues dans les paniers ECE à destination de l'ACC.** En revanche, s'agissant des essais réalisés, l'IRSN relève que les hypothèses relatives à la répartition des coques ne sont pas étayées par Orano (longueur cumulée de coques longues, répartition des longueurs des coques longues, longueurs des autres coques, etc.). L'IRSN convient par ailleurs que l'introduction de coques de longueur dite intermédiaire tend à complexifier la détection des coques longues, dès lors qu'elles sont en quantité suffisamment importante et de longueur variable, comprise entre 50 mm et 200 mm. Cependant, certains essais ne mettent en œuvre que deux coques de 150 mm à 190 mm et ne s'avèrent ainsi pas représentatifs de cette complexité. Enfin, s'agissant des performances des essais, l'IRSN note que, dans certains cas, des coques de 200 mm n'ont pas été détectées. Ainsi, bien qu'Orano retienne sur la base des essais une performance moyenne de détection de la longueur cumulée de coques longues de 91 % en considérant l'ensemble des coques longues (dont certaines de 500 mm à 1000 mm), l'IRSN observe qu'elle chute à un niveau de l'ordre de 71 % en ne considérant que la détection des coques de 200 mm. Cette performance de tri sur des coques de 200 mm est comparable à la performance pénalisante retenue par Orano (environ 70 %) pour l'ensemble des coques longues introduites, quelles que soient leurs longueurs. Aussi, l'IRSN souligne que les performances obtenues par Orano sont étroitement liées à la répartition des longueurs des coques introduites dans les essais (coques longues et autres coques). Or, l'IRSN rappelle qu'Orano ne dispose pas d'éléments de retour d'expérience liés à cette répartition dans le silo HAO et dans les curseurs du SOC. **En conséquence, l'IRSN estime que le caractère représentatif de ces essais et le caractère enveloppe des performances du tri ne sont pas démontrés.**

Evaluation de la masse de matière fissile résiduelle

Pour évaluer la masse de matière fissile résiduelle dans les coques longues non détectées, Orano s'appuie sur les colis moyens⁹ et enveloppes¹⁰ définis dans le dossier de caractérisation du colis CSD-C HAO. Pour le colis moyen, sans tenir compte des coques longues, la masse de matière fissile est estimée par Orano à 15 g (équivalent ²³⁹Pu) ; pour le colis enveloppe, celle-ci est estimée à 61 g. Pour prendre en compte les coques longues, Orano considère deux ensembles d'hypothèses :

- pour le colis moyen, une répartition homogène (1100 mm de coques longues par équivalent curseur) et un taux de remplissage moyen (55,2 %)¹¹ des coques longues sont retenus. Les autres caractéristiques sont également moyennes (masse linéique de combustible, inventaire radiologique du combustible retenu, etc.) ;
- pour le colis enveloppe, une répartition inhomogène (majoration de 50 % de la longueur cumulée de coques longues par équivalent curseur) et un taux de remplissage de 100 % sont retenus. Les autres caractéristiques sont pénalisantes.

Dans le cas d'une performance de tri pénalisante de 70 %, Orano estime la masse de matière fissile totale dans les colis moyens et enveloppes à 21 g et 101 g respectivement. Dans le cas d'une performance de tri moyenne de 91 %, ces masses valent respectivement 17 g et 73 g.

⁹ Colis basé sur une répartition moyenne des déchets du silo HAO (coques, embouts, fines de cisailage, fines de dissolution, résines) dans l'ensemble des colis.

¹⁰ Colis comportant une quantité enveloppe des différents types de déchets (notamment, une quantité plus importante de fines et de résines que le colis moyen) et un inventaire radiologique pénalisant.

¹¹ Taux moyen issu de l'analyse du remplissage en combustible indissous des coques récupérées en fond de piscine 907.

Au cours de l'expertise, Orano a précisé que les algorithmes de traitement des postes INA ont été spécifiés (pour celui de la cellule de reprise) et adaptés (pour ceux de l'ACC), notamment pour tenir compte de la présence de matériaux absorbants (acier inoxydable de certaines gaines) ou thermalisants (fines et résines) dans les déchets. L'étalonnage de ces postes INA est effectué au moyen d'une source neutronique, de crayons modulables contenant de l'oxyde d'uranium enrichi et d'éléments de matrices (tronçons en acier inoxydable, etc.). Des mesures ont ainsi été réalisées pour plusieurs configurations et les résultats ont été comparés à des modélisations des postes, permettant ainsi l'optimisation d'un modèle numérique. Une fois ce modèle qualifié, Orano a élaboré un plan d'expérience pour définir des plages de variation des paramètres à prendre en compte dans les modélisations (masse de matière fissile, répartition des coques, etc.), puis a réalisé des modélisations dans le domaine ainsi défini, permettant *in fine* de paramétrer les postes INA, et d'associer des incertitudes à ce paramétrage. Dans la cellule de reprise, le poste INA ainsi étalonné est utilisé pour évaluer la masse de matière fissile dans les paniers ECE.

S'agissant des évaluations de masse de matière fissile proposées par Orano pour un colis enveloppe, l'IRSN convient qu'une partie des hypothèses est pénalisante (taux de remplissage de 100 %, masse linéique de combustible, etc.) mais relève que la justification du caractère enveloppe de certaines autres hypothèses n'est pas étayée. D'une part, l'hypothèse relative à la longueur cumulée de coques longues par équivalent curseur n'est pas étayée (cf. recommandation n°1). D'autre part, comme souligné ci-avant, les performances de tri sont fortement dépendantes des longueurs de coques retenues pour les essais, dont la représentativité n'a pu être démontrée par Orano. Par ailleurs, l'IRSN estime que le protocole mis en œuvre par Orano permet en effet de détecter la majeure partie des coques les plus longues (notamment les coques de 300 mm ou plus) mais ne permet pas de s'affranchir du risque de présence de coques de 200 mm dans les paniers ECE à destination de l'ACC, alors même que le retour d'expérience a montré l'absence de corrélation entre la longueur des coques et leur taux de remplissage. Ainsi, ces coques de 200 mm peuvent être totalement remplies de combustible indissous. Ce point met en exergue la nécessité de disposer d'une mesure fiable de la masse de matière fissile, *via* le poste INA de la cellule de reprise, au cours du remplissage des paniers ECE. **A cet égard, l'IRSN souligne l'importance de la fiabilité de la mesure effectuée au poste INA, mais relève qu'au cours de l'expertise, Orano n'a pas transmis de note d'étalonnage du poste INA de la cellule de reprise.** En l'absence d'une telle note, l'IRSN n'est pas en mesure de se prononcer sur la fiabilité de la mesure de masse de matière fissile effectuée à ce poste. L'IRSN estime que la fiabilité de cette mesure devrait être démontrée préalablement à la délivrance de l'accord de conditionnement. Ce point fait l'objet de la recommandation n°2 en annexe du présent avis.

Enfin, l'IRSN note que les masses de matière fissile résiduelle dans les coques estimées par Orano pour le colis enveloppe sont inférieures aux limites autorisées dans un colis CSD-C, issues des référentiels de sûreté des différentes installations impliquées dans la gestion de ces colis (par exemple, pour les installations de La Hague concernées, cette limite est fixée à 430 g de Pu-239 par colis CSD-C). Aussi, le risque de criticité dans ces installations apparaît maîtrisé, sous réserve de l'atteinte, en conditions réelles, des mêmes performances de tri que celles atteintes lors des essais et de la démonstration du caractère enveloppe de l'hypothèse relative à la longueur cumulée de coques longues par équivalent curseur (cf. recommandation n°1). D'un point de vue formel, l'IRSN rappelle que la masse de matière fissile dans un colis CSD-C HAO devrait constituer un paramètre garanti dans le référentiel de conditionnement du colis, la justification de la sous-criticité du colis reposant sur le principe de limitation de la masse de matière fissile dans le colis en tenant compte de ses caractéristiques géométriques. Ce point a fait l'objet d'une recommandation dans l'avis IRSN n°2017-00330 du 19 octobre 2017. Par ailleurs, **l'IRSN souligne que les enjeux en lien avec la présence de matière fissile dans les colis CSD-C HAO sont également liés au comportement long-terme en conditions de stockage des colis CSD-C HAO, qui ne disposent pas de matrice de confinement.** Bien que le modèle de relâchement retenu dans le cadre des études sur Cigéo soit un modèle labile¹², particulièrement conservatif, l'IRSN rappelle que les études sur les déchets organiques, dont la présence est limitée à 10 g par colis CSD-C HAO, devraient se poursuivre pour consolider l'inventaire des

¹² Relâchement instantané à l'arrivée de l'eau.

produits de dégradation hydrosolubles (PDH¹³) formés et caractériser leur impact sur la mobilité des radionucléides en conditions de stockage. En effet, l'IRSN a constaté des incertitudes liées à la formation de PDH susceptibles de favoriser la complexation des actinides et de faciliter leur migration.

Conclusion

L'IRSN estime que l'optimisation du protocole de reprise des déchets du silo HAO et des curseurs du SOC sur la base d'essais à l'échelle 1 en conditions réelles est satisfaisante et de nature à limiter la présence de coques longues dans les colis CSD-C HAO.

Pour autant, l'IRSN relève que le caractère parcellaire des données sur les coques longues du silo HAO et des curseurs du SOC ne permet pas de se prononcer, d'une part sur le caractère représentatif des essais menés, en particulier vis-à-vis de la répartition des longueurs de coques, d'autre part sur le caractère enveloppe de l'hypothèse de longueur cumulée de coques longues par curseur (recommandation n°1). Aussi, l'IRSN estime que la fiabilité de l'estimation de la masse de matière fissile résiduelle liée à la présence de coques longues, basée sur l'efficacité du tri déterminée lors des essais et sur la longueur cumulée de coques longues par grappée ou par curseur, n'a pas été démontrée par Orano. En conséquence, l'IRSN souligne le caractère fondamental de la fiabilité de la mesure de la masse de matière fissile aux postes INA de la cellule de reprise et de l'ACC (recommandation n°2).

Dans ce contexte, l'IRSN recommande que le processus de reprise intègre un seuil de masse de matière fissile détectée au poste INA de la cellule de reprise permettant de s'assurer de l'efficacité du tri et conduisant, en cas de dépassement, à la vidange sur la table de tri du panier ECE en cours de remplissage afin de réaliser un nouveau tri. Ce point fait l'objet de la recommandation n°3 en annexe du présent avis. En tout état de cause, ce seuil ne saurait être défini uniquement sur la base de la limite de masse de matière fissile établie en lien avec la maîtrise du risque de criticité dans les installations de La Hague. En effet, l'IRSN rappelle que, par conception, les caractéristiques du colis CSD-C HAO, ne sont pas adaptées au conditionnement de combustible indissous, en particulier vis-à-vis de leur comportement à long terme en conditions de stockage.

IRSN

Le Directeur général
Par délégation, Michel Baudry
Adjoint au directeur de l'environnement

¹³ Complexants potentiels des radionucléides pouvant, en condition de stockage, augmenter leur solubilité et/ou modifier leur rétention.

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2022-00234 DU 15 DECEMBRE 2022

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande qu'Orano étaye l'hypothèse relative à la quantité de coques longues par équivalent curseur dans le silo HAO et dans les curseurs du SOC, afin de confirmer la masse de matière fissile évaluée dans le colis CSD-C HAO.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande qu'Orano démontre la fiabilité de la mesure de la masse de matière fissile aux postes INA de la cellule de reprise et de l'ACC sur la base des résultats d'un étalonnage tenant compte de la présence de coques longues.

Recommandation n°3

L'IRSN recommande qu'Orano mette en place un seuil de masse de matière fissile détectée au poste INA de la cellule de reprise permettant de s'assurer de l'efficacité du tri et conduisant, en cas de dépassement, à la vidange sur la table de tri du panier ECE en cours de remplissage afin de réaliser un nouveau tri. En tout état de cause, ce seuil ne saurait être défini uniquement sur la base de la limite de masse de matière fissile établie en lien avec la maîtrise du risque de criticité dans les installations de La Hague mais devra également intégrer le comportement à long terme en conditions de stockage des colis CSD-C HAO.