

Fontenay-aux-Roses, le 5 juillet 2024

Monsieur le Président de l'Autorité de sûreté nucléaire

AVIS IRSN N° 2024-00105

Objet : CEA - INB n°148 Atalante - Avis relatif à la demande d'accord de conditionnement de produits de fission et d'actinides en colis intermédiaires de verre

Réf. : Lettre CODEP-DRC-2023-009983 du 21 avril 2023

Par lettre citée en référence, vous sollicitez l'avis de l'IRSN sur la demande d'accord de conditionnement de solutions de produits de fission et d'actinides (PFA) de haute activité (HA) du CEA en colis intermédiaires, dits « colis Atalante », dans l'installation nucléaire de base (INB) n°148 dénommée Atalante. Ces colis intermédiaires, au sens de la décision ASN n°2017-DC-0587, feront l'objet d'opérations ultérieures de conditionnement en vue de réaliser des colis de déchets radioactifs définitifs destinés à un stockage dans l'installation Cigéo.

1. CONTEXTE

L'installation Atalante, située sur le site CEA de Marcoule, regroupe différents moyens de recherche et de développement dédiés aux programmes d'études sur les procédés de traitement des combustibles usés. Dans le cadre de ces études, des solutions de PFA issues de la dissolution de combustibles UOX et MOX irradiés ont été générées. Le CEA prévoit la calcination et la vitrification de ces solutions, sur la base des spécifications Orano 300 AQ 60¹ et DIRP SP16-00258² autorisées par l'ASN et bénéficiant d'un large retour d'expérience.

Le procédé de vitrification envisagé par le CEA est un procédé qui produit des colis intermédiaires de taille significativement réduite : hauteur d'environ 14 cm et masse de 3,2 kg contre plus d'un mètre et 490 kg pour les colis CSD-V produits par Orano selon les spécifications précitées. Dans ce procédé envisagé par le CEA, le verre en fusion est coulé dans un creuset en acier inoxydable puis ce creuset est disposé dans un conteneur en acier inoxydable qui est ensuite fermé par un couvercle (cf. chapitre 3 ci-après). Ces colis intermédiaires seront entreposés dans la chaîne blindée C18 d'Atalante dans l'attente d'un futur conditionnement définitif. Pour ce dernier, le CEA prévoit de placer ces colis intermédiaires par 32 dans un panier métallique, de les bloquer

¹ Spécification du colis standard de déchets vitrifiés (CSD-V) avec teneur en actinides augmentée produit à La Hague autorisée par la décision ASN n°2008-DC-0125.

² Spécification évoluée du colis standard de déchets vitrifiés (CSD-V) produit en pot de fusion à La Hague autorisée par la décision ASN n°CODEP-DRC-2021-018669.

mécaniquement par de la fritte de verre avant introduction du panier dans un conteneur métallique adapté. A ce stade, le CEA envisage un conteneur en acier inoxydable similaire à ceux utilisés dans l'atelier de vitrification de Marcoule (AVM). Le CEA prévoit la production de 82 colis intermédiaires, soit trois à cinq colis définitifs selon leur puissance thermique (cf. chapitre 4 ci-après).

S'agissant d'un conditionnement intermédiaire, certaines fonctions de sûreté de ces colis ne sont portées que dans l'attente de leur conditionnement définitif. Par conséquent, l'expertise par l'IRSN des performances mécaniques (tenue à la chute, manutentionnabilité) et de confinement du conteneur en acier inoxydable ainsi que leur maintien dans le temps (corrosion) est proportionnée aux enjeux d'un conditionnement intermédiaire. En revanche, l'atteinte et le maintien des performances de confinement de la matrice vitreuse requises au cours des phases d'entreposage et de stockage constitue un enjeu de sûreté majeur du colis Atalante. La production du colis Atalante sur la base des spécifications Orano précitées vise à lui conférer un comportement, en termes de performances de confinement des radionucléides, similaire à celui de la matrice vitreuse des colis CSD-V, dont l'IRSN convient de la robustesse. Au cours de son expertise, l'IRSN s'est donc attaché à évaluer la transposabilité de ces spécifications de production aux colis Atalante compte tenu de différences notables liées aux facteurs d'échelle et aux caractéristiques des combustibles usés, qui diffèrent de ceux habituellement traités à la Hague (notamment par leur teneur élevée en actinides). Enfin, l'expertise de l'IRSN porte également sur la démonstration que ces opérations de conditionnement intermédiaires ne portent pas préjudice à la capacité à mener les opérations de conditionnement ultérieures en vue de produire des colis de déchets radioactifs définitifs.

En réponse à votre demande citée en référence et compte tenu de ces enjeux, le présent avis traite successivement : (i) des caractéristiques des solutions à conditionner, (ii) du procédé d'élaboration des colis et du programme de qualification de ces colis, (iii) des paramètres visant à garantir les performances du colis et (iv) du comportement du colis en entreposage et en stockage.

2. CARACTERISTIQUES DES SOLUTIONS A CONDITIONNER

Dans le cadre de ses études sur les procédés de traitement des combustibles usés, le CEA utilise différents types de combustibles à différents taux de combustion. Les solutions de PFA objet du présent avis sont issues des chaînes blindées dites « procédé » (CBP) et « C11/C12 » d'Atalante. Les solutions déjà produites sont actuellement entreposées dans 9 cuves, de 11 à 60 L, au sein de la chaîne blindée CBP. En 2021, le volume de solution en attente de traitement était estimé par le CEA à 235 L. Le CEA évalue la production supplémentaire à environ 20 L/an jusqu'à la mise à l'arrêt définitif d'Atalante, prévue autour de 2045. Ainsi, le volume total de solution à traiter s'élève à environ 715 L.

L'IRSN relève que la dissolution de combustibles irradiés à de très haut taux de combustion est susceptible de générer davantage de fines de dissolution que celles des combustibles traités dans le cadre des spécifications Orano. A cet égard, le CEA a précisé au cours de l'expertise que les fines de dissolution étaient séparées des solutions de PFA lors de l'étape de clarification et que ces fines de dissolution ne seront pas introduites dans l'élaboration des verres lors des campagnes de vitrification, mais valorisées dans de futurs programmes de recherche. L'IRSN convient que l'exclusion des fines de dissolution du flux des solutions de PFA à traiter permettra de respecter les domaines de composition définis dans les spécifications Orano et ainsi d'éviter des sources d'hétérogénéités dans le verre. **Il appartiendra au CEA de préciser, dans les règles générales d'exploitation (RGE) de l'installation, l'interdiction d'introduction de ces fines dans la cuve d'alimentation du calcinateur.**

Au cours de l'expertise, le CEA a indiqué que l'entreposage des solutions de PFA dans les cuves se faisait préférentiellement par campagnes et donc par type de combustible. Le CEA privilégie ainsi un traitement séparé des cuves afin de vitrifier les solutions de PFA provenant d'un même combustible. Le CEA précise toutefois que des mélanges ont été et pourront être réalisés ponctuellement entre les cuves. Chaque combustible dissout ayant ses propres caractéristiques radiologiques et chimiques, les inventaires radiologiques seront déclarés à la date de production des colis de verre pour l'ensemble des radionucléides. Pour cela, les compositions chimiques

et radiologiques de la solution de PFA à traiter issue d'un combustible ou d'un mélange de combustibles seront déterminées à partir d'échantillons prélevés, après homogénéisation, dans les cuves de la chaîne blindée CBP. Ces compositions sont déterminées dans la chaîne blindée CBA par différents moyens analytiques : spectrométrie par fluorescence X, ICP/MS³ et/ou ICP/OES⁴, spectrométrie gamma et/ou alpha selon les radionucléides d'intérêt, etc.

Afin d'atteindre une composition cible conforme à la spécification 300 AQ 60, la solution de PFA à traiter est ensuite ajustée au moyen d'une solution composée principalement d'acide nitrique. Un adjuvant (saccharose), visant à réduire le ruthénium sous une forme solide afin d'éviter la formation de ruthénium gazeux lors de la calcination, est également ajouté. Enfin, l'atteinte de la composition chimique cible de la solution ajustée est confirmée par une nouvelle série d'analyses dans la chaîne blindée CBA.

L'IRSN estime que les moyens analytiques mis en œuvre par la CEA pour caractériser les solutions de PFA, avant et après ajustement, correspondent à l'état de l'art et considère que ces moyens sont adaptés à la nature et aux caractéristiques de ces solutions. L'IRSN estime en outre que la démarche d'ajustement des solutions de PFA, couplée à leurs caractérisations successives, est de nature à permettre l'élaboration des colis de déchets selon les spécifications Orano. La mise en œuvre effective de cette démarche et la capacité du CEA à atteindre une composition cible conforme aux spécifications Orano compte tenu du facteur d'échelle sont expertisées au chapitre 3 du présent avis.

Dans son référentiel de conditionnement, le CEA considère deux combustibles dits « de référence », UOX et MOX, présentant respectivement des taux de combustion de 75 GWj/t et 45 GWj/t ainsi que des temps de refroidissement de quatre ans et neuf ans. Selon le CEA, le caractère enveloppe de ces combustibles, et donc des solutions de PFA issues de leur retraitement, est garanti par la combinaison d'un taux de combustion élevé et d'un temps de refroidissement faible au regard des précédentes campagnes de traitement de combustibles, **ce dont l'IRSN convient**. Les caractéristiques de ces combustibles de référence permettent au CEA d'évaluer, en appui à sa demande d'autorisation de conditionnement, les caractéristiques des futurs colis Atalante, s'agissant en particulier de leur activité radiologique, de leur masse de matière fissile, de leur puissance thermique ou encore de leur composition chimique. **L'IRSN estime que cette démarche, fondée sur les caractéristiques enveloppes de combustibles dits « de référence » au regard du retour d'expérience des campagnes de traitement du combustible dans l'installation, est satisfaisante.**

3. PROCÉDE DE FABRICATION ET PROGRAMME DE QUALIFICATION

Les solutions de PFA ajustées sont acheminées par des lignes de transfert ou par bouteillons vers une cuve de réception avant leur calcination et leur vitrification dans l'unité dédiée, dénommée VESPA et implantée dans le caisson C18/001 de la chaîne blindée C18 du bâtiment DHA (déchets de haute activité). La calcination des solutions de PFA ajustées se fait par campagne dans un four tournant permettant l'évaporation des solvants et la calcination des sels de PFA. Le calcinât, puis la fritte de verre, sont ensuite placés dans un pot de fusion pour l'étape de vitrification. Le bain de fusion est chauffé à environ 1150 °C par un four à induction et le brassage est assuré par une canne de bullage (argon). Le verre en fusion est coulé, en une seule fois, via une buse dans un creuset en acier inoxydable, qui, après refroidissement, est disposé dans un conteneur en acier inoxydable. Le colis vitrifié ainsi constitué est fermé par un couvercle disposant d'un système de fermeture par baïonnettes.

Le programme de qualification du procédé de vitrification est en cours de réalisation sur la plateforme ELVIS, prototype jumeau en inactif de la plateforme VESPA. Au cours de l'expertise, le CEA a indiqué que les résultats

³ Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif.

⁴ Spectroscopie d'émission optique à plasma à couplage inductif.

de ce programme, ainsi que les éléments de retour d'expérience du prototype ELVIS, seront disponibles en 2024. Ce programme de qualification comporte notamment les principaux essais permettant de définir les conditions de fonctionnement pour l'obtention d'un verre conforme aux spécifications Orano.

L'IRSN rappelle que dans le cadre d'une demande d'accord de conditionnement, le programme de qualification doit apporter la démonstration de l'atteinte des niveaux de performances requis de ces colis. L'IRSN souligne en particulier l'enjeu associé à la démonstration de la capacité à produire un verre conforme aux spécifications Orano, conformité garante de l'atteinte et du maintien des performances de confinement de la matrice vitreuse pendant toutes les phases de gestion de ce type de colis. A cet égard, l'IRSN estime qu'au cours du programme de qualification, une attention particulière doit être portée au respect du domaine de composition chimique défini dans les spécifications Orano. L'application des marges relatives associées à la composition chimique du verre dans cette spécification conduit en effet à réduire très fortement les marges absolues dont le CEA dispose pour l'élaboration du colis intermédiaire compte tenu du changement d'échelle important du procédé. A titre d'exemple, le respect du domaine de composition de ZnO dans la spécification 300 AQ 60, compris entre 2,2 et 2,8 %, impose au CEA d'introduire une masse comprise entre 36 et 46 g pour 1,64 kg de verre contre 9 et 11 kg pour 400 kg de verre pour les colis CSD-V. La compatibilité de ces marges absolues réduites avec les incertitudes cumulées du procédé sur le volume des solutions de PFA à traiter, leur caractérisation et leur ajustement ainsi que sur la masse de la fritte de verre à ajouter devra ainsi être vérifiée. **En conséquence, l'IRSN estime que le CEA devra, en vue de l'obtention d'un accord de conditionnement des solutions de PFA en colis Atalante, démontrer sa capacité à produire un colis de déchets vitrifiés conforme aux spécifications Orano, en particulier s'agissant du respect du domaine de composition chimique, sur la base des résultats de son programme de qualification.** Ce point fait l'objet de la recommandation n°1 en annexe au présent avis.

Par ailleurs, l'IRSN relève que le système de fermeture par baïonnettes, d'une part n'a pas fait l'objet d'une qualification à la tenue à la chute à ce stade, d'autre part ne dispose pas de performances mécaniques et de confinement aussi performantes que le soudage retenu pour la fermeture des colis CSD-V. A cet égard, le CEA a indiqué au cours de l'expertise que lors de l'entreposage des colis Atalante puis de leur transport vers une installation permettant leur conditionnement définitif, leur confinement serait assuré, outre la matrice vitrifiée, par la chaîne blindée C18 puis l'emballage de transport. De plus, le CEA a précisé que ces colis intermédiaires ne seront pas manutentionnés à plus de 40 cm de hauteur. L'IRSN convient que les hauteurs de manutention limitées et la proximité immédiate entre les cellules de conditionnement et d'entreposage limitent les risques de perte de confinement consécutifs à une chute. L'IRSN souligne en outre que les modalités d'entreposage en cellule blindée constituent une garantie certaine vis-à-vis du confinement pendant leur entreposage dans l'attente du conditionnement définitif. Enfin, l'IRSN rappelle que le colis définitif envisagé par le CEA disposera d'une fermeture par soudage comme les colis AVM et devra faire l'objet d'une qualification à la chute. **Aussi, dans une approche proportionnée aux enjeux d'un conditionnement intermédiaire, tenant compte des modalités d'entreposage et des étapes de conditionnement ultérieures envisagées, l'IRSN convient de la suffisance de ce système de fermeture par baïonnettes.** L'IRSN rappelle de manière formelle qu'il appartiendra au CEA d'une part de décrire et analyser dans le référentiel de sûreté de l'installation les opérations de manutention à l'intérieur de la chaîne blindée, notamment à l'égard de la chute d'un colis, d'autre part de mettre en œuvre des modalités de transport adaptées aux colis intermédiaires lors de leur transfert vers l'installation qui permettra leur conditionnement définitif.

Le CEA évalue la production annuelle de colis intermédiaires, dès 2024, à environ 4 colis par an pendant 7 ans, soit 28 colis, puis environ 2 colis par an jusqu'en 2045. De plus, 20 colis additionnels pourraient être produits à partir des solutions, dites résiduelles, présentes dans les cuves à la fin de vie de l'installation. Les colis intermédiaires Atalante seront entreposés en puits dans le caisson C18/002 de la chaîne blindée C18. La capacité d'entreposage du caisson C18/002 est de 48 colis intermédiaires, répartis dans 16 puits. Au cours de l'expertise, le CEA a indiqué qu'entre les cuves de la chaîne CBP et les puits de C18/002, la capacité d'entreposage de l'installation Atalante permettrait d'éviter des problèmes de saturation des solutions de PFA ou des colis intermédiaires jusqu'en 2031-2035. Au-delà de cette période, le CEA envisage l'entreposage de colis

intermédiaires dans l'installation, encore à définir, qui accueillera les opérations ultérieures de conditionnement définitif des colis Atalante. Compte tenu des perspectives de saturation des capacités d'entreposage à moyen terme (10 ans) et de l'absence de visibilité sur les opérations ultérieures de conditionnement définitif, **il appartiendra au CEA d'établir au plus tôt un calendrier de mise en œuvre du conditionnement définitif et, le cas échéant, d'une capacité complémentaire d'entreposage des colis intermédiaires Atalante.** L'IRSN relève toutefois l'absence de verrous technologiques ou de développements spécifiques importants à mettre en œuvre pour ce futur conditionnement et convient que le faible nombre de colis à produire, leur taille réduite et le gain pour la sûreté constitué par leur vitrification sont de nature à faciliter la gestion future de ces déchets.

Enfin, s'agissant de l'absence de préjudice des opérations de conditionnement intermédiaires vis-à-vis de la capacité de mener les opérations de conditionnement ultérieures en vue de produire des colis de déchets radioactifs définitifs, exigence prescrite par l'article 4.1.1 de la décision ASN n°2017-DC-0587, l'IRSN considère que le conditionnement définitif envisagé bénéficiera des performances de confinement à long terme de la matrice vitreuse des colis intermédiaires. **Aussi, l'IRSN estime que le conditionnement des solutions de PFA en colis Atalante ne constitue pas un contre-geste vis-à-vis de leur conditionnement définitif.**

4. PARAMETRES GARANTIS AU REGARD DES PERFORMANCES ATTENDUES

L'atteinte des performances mécaniques et de confinement attendues aux différentes étapes de gestion des colis Atalante, et plus généralement le respect d'exigences de sûreté des installations de production, d'entreposage et de stockage, reposent sur la définition de paramètres garantis pour ces colis et leurs modalités de contrôle. La pertinence de ces paramètres est examinée par l'IRSN au regard notamment de leur compatibilité avec les spécifications d'acceptation des colis de déchets dans l'installation Atalante et avec les spécifications préliminaires d'acceptation des colis dans l'installation Cigéo.

Dans son référentiel de conditionnement, le CEA indique que les paramètres garantis des colis de verre Atalante sont i) les caractéristiques du verre, dont la composition chimique, les activités radiologiques, la dose α cumulée à 10 000 ans et la puissance thermique, ii) la qualité du verre, iii) la procédure de refroidissement et d'entreposage et iv) la qualité du pot constitué du creuset, du conteneur et de son couvercle. De ces paramètres garantis, le CEA décline des exigences spécifiées et leurs paramètres de contrôle. A titre d'exemple, les exigences spécifiées relatives au paramètre garanti « qualité du verre » portent sur la température d'élaboration du verre et son homogénéité. L'IRSN constate qu'hormis la masse d'actinides (cf. *infra*), la plupart des paramètres garantis définis dans la spécification 300 AQ 60 d'Orano sur laquelle s'appuie ce référentiel de conditionnement et pertinents pour un colis intermédiaire, est retenue par le CEA. L'IRSN relève toutefois que certains de ces paramètres garantis sont repris sous la forme d'exigences spécifiées, tels que les dimensions du pot ou les nuances des matériaux le constituant. En outre, l'IRSN souligne que les paramètres garantis dits « qualité du verre », « procédure de refroidissement et d'entreposage » et « qualité du pot » définis par le CEA correspondent à des objectifs généraux ou à des finalités non mesurables, ne pouvant être bornés ou assortis d'une incertitude, à la différence des exigences spécifiées associées. A cet égard, l'IRSN rappelle que les valeurs des paramètres garantis constituent des données d'entrée de la démonstration de sûreté des installations dans lesquelles le colis a vocation à être géré. Ce sont des paramètres bornés qui conditionnent les dispositions mises en œuvre tout au long du procédé de conditionnement des déchets et qui doivent être vérifiés par des contrôles en cours de production et, dans la mesure du possible, sur le colis fini. **Aussi, il appartiendra au CEA de clarifier sa démarche d'établissement des paramètres garantis et des exigences spécifiées afin de définir, dans son référentiel de conditionnement, des paramètres garantis quantifiables, bornés et assortis d'une incertitude.**

La masse d'actinides (U et Pu) par colis, qui est un paramètre garanti dans les spécifications Orano, a fait l'objet d'une attention particulière de l'IRSN au cours de son expertise compte tenu de la teneur élevée en actinides des combustibles usés traités dans l'installation Atalante. Dans son référentiel de conditionnement, le CEA définit une teneur massique maximale de 0,15 % de PuO₂ et de 4,5 % d'UO₂ par colis intermédiaire, sans pour autant en

faire un paramètre garanti (ni une exigence spécifiée). A titre de comparaison, les teneurs maximales définies dans la spécification Orano 300 AQ 60 sont de 0,03 % pour le PuO_2 et de 1,3 % pour l' UO_2 . L'impact de cette teneur accrue en actinides sur les performances mécaniques et de confinement de la matrice vitreuse est expertisé au chapitre 5 du présent avis. S'agissant du respect des exigences de sûreté liées à la criticité dans les installations d'entreposage et de stockage, le CEA évalue la masse de matière fissile à moins de 2,12 g par colis intermédiaire. La masse maximale de matière fissile des 48 colis de verre prévus d'être entreposés dans les puits de C18/002 est donc de 101,76 g, soit une valeur inférieure à la limite autorisée de 350 g dans l'unité DHA. Les spécifications préliminaires d'acceptation des colis à Cigéo limitent quant à elles la masse de matière fissile à 120 g d'équivalent ^{239}Pu par colis de déchets radioactif définitif. Le colis définitif Atalante envisagé étant constitués de 32 colis intermédiaires, la masse maximale de matière fissile serait donc de 67,8 g par colis définitif, ce qui permet le respect des spécifications d'acceptation de Cigéo. L'IRSN estime que ces quantités maximales d'U et de Pu, couplées aux faibles taux d'enrichissement de cet uranium et à la présence dans le verre de B_2O_3 , dont l'isotope ^{10}B est un poison neutronique, sont de nature à garantir le respect des limites de masse de matières fissiles par colis en entreposage et en stockage. L'IRSN s'interroge toutefois sur l'absence de paramètre garanti relatif aux teneurs massiques en U et Pu dans la mesure où ces teneurs sont garantes de la maîtrise de la criticité en entreposage et en stockage, ainsi que des performances de la matrice vitreuse. **Aussi, l'IRSN recommande que le CEA définisse, dans son référentiel de conditionnement, un paramètre garanti relatif aux teneurs massiques en U et Pu des colis intermédiaires Atalante en lien avec la maîtrise du risque de la criticité et les performances de la matrice vitreuse.** Ce point fait l'objet de la recommandation n°2 en annexe au présent avis.

La puissance thermique des colis intermédiaires fait l'objet d'un paramètre garanti dans le référentiel de conditionnement transmis par le CEA. Cette puissance est limitée à 10 W par colis Atalante à la production, en cohérence avec leurs modalités d'entreposage. En effet, les puits d'entreposage du caisson C18/002 de la chaîne blindée C18, dans lesquelles seront entreposés les 48 premiers colis intermédiaires, sont ventilés et dimensionnés pour accueillir jusqu'à trois colis chacun et une puissance thermique totale de 30 W. Le CEA indique que les puissances thermiques les plus élevées sont atteintes pour un colis intermédiaire issu de la vitrification de solutions de PFA provenant du retraitement du combustible de référence UOX. Après 30 ans d'entreposage, la puissance thermique calculée par le CEA pour un tel colis intermédiaire est de 2,69 W. L'IRSN rappelle à cet égard que les spécifications préliminaires d'acceptation des colis à Cigéo, au stade de la demande d'autorisation de création, limitent la puissance thermique maximale à 50 W par colis. L'IRSN observe ainsi que la puissance thermique pourrait constituer un facteur limitant pour l'élaboration des colis définitifs. Selon les estimations ci-avant, le nombre de colis intermédiaires issus du traitement de combustible de référence UOX pouvant être introduits dans un colis définitif AVM serait limité à 18 contre 32 initialement prévus. En supposant la production de 82 colis intermédiaires uniquement issus du traitement de combustible de référence UOX, configuration pénalisante, et une durée d'entreposage de 30 ans avant stockage, cinq colis définitifs AVM seraient nécessaires pour respecter le critère de puissance thermique maximale contre trois initialement prévus par le CEA. **L'IRSN estime toutefois que cette augmentation potentielle du nombre de colis définitif reste limitée et cohérente avec le nombre prévisionnel de cinq colis indiqués par l'Andra dans la version préliminaire du rapport de sûreté de l'installation Cigéo.** En outre, l'IRSN souligne la possibilité d'assemblage, lors de la constitution du colis définitif, des différents colis intermédiaires en fonction de leurs caractéristiques afin de respecter les limites de puissance thermique tout en optimisant le nombre total de colis définitif.

5. COMPORTEMENT DU COLIS EN ENTREPOSAGE ET EN STOCKAGE

Le maintien des performances mécaniques du colis intermédiaire repose sur l'intégrité du conteneur métallique vis-à-vis du risque de corrosion ou de chute pendant la durée de son entreposage dans les puits verticaux du caisson C18/002 de la chaîne blindée C18. En entreposage, l'IRSN relève que le risque de chute est limité par

l'absence de gerbage des colis, qui sont placés sur une étagère individuelle dans chaque puits d'entreposage et, comme indiqué précédemment, par leur faible hauteur de manutention à l'intérieur des cellules (inférieure à 40 cm). Par ailleurs, bien qu'aucune précision n'ait été apportée au cours de l'expertise sur la maîtrise de l'atmosphère (humidité relative) en entreposage, l'IRSN estime que le risque de corrosion est limité par les nuances d'aciers inoxydables (304L et 310) retenues pour les creusets et les conteneurs (couvercle inclus) et les conditions d'entreposage en puits ventilés. De plus, l'IRSN convient que la phase d'entreposage des colis intermédiaires dans l'attente de leur conditionnement définitif ne devrait pas excéder la dizaine d'années compte tenu de la simplicité du procédé et de l'absence de verrous technologiques. **Aussi, l'IRSN convient de la suffisance des dispositions prises eu égard au maintien des performances mécaniques des colis intermédiaires, dans l'attente de leur conditionnement définitif.** Les performances mécaniques durant la phase d'exploitation du stockage seront portées par le conteneur AVM, qui relève de la future demande d'autorisation de conditionnement en colis définitif.

Le maintien des performances de confinement du colis intermédiaire pendant sa fabrication et son entreposage repose sur l'intégrité du conteneur métallique du colis intermédiaire (cf. *supra*) et sur celle de la matrice vitreuse. La production du colis Atalante sur la base des spécifications Orano précitées vise à conférer à cette dernière un comportement, en termes de performances de confinement des radionucléides, similaire à celui de la matrice vitreuse des colis CSD-V, qui dispose d'un retour d'expérience important en termes de fabrication et ayant fait l'objet de nombreuses études.

En premier lieu, le CEA indique que les conditions d'entreposage en puits ventilés des colis intermédiaires, incluant en particulier une limitation thermique de 30 W par puits, permet de maintenir la température du verre inférieure à 200 °C. L'IRSN convient que cette valeur, très inférieure à la limite de transformation possible de l'état vitreux (510 °C), concourt à garantir le maintien des performances de la matrice vitreuse.

En second lieu, l'IRSN souligne la teneur accrue en actinides des colis Atalante. Comme indiqué précédemment, le CEA définit dans son référentiel de conditionnement une teneur massique maximale de 0,15 % de PuO₂ et de 4,5 % d'UO₂ par colis intermédiaire (contre respectivement 0,03 % et 1,3 % dans la spécification 300 AQ 060 des colis CSD-V Orano). L'IRSN observe que la littérature montre que de tels verres ne sont pas susceptibles de former des hétérogénéités préjudiciables à la qualité de la matrice vitreuse (limites de solubilité des actinides, cristallisation, dévitrification, etc.) et donc à son comportement à long terme. En revanche, cette teneur accrue en actinides conduira à une augmentation de la dose α cumulée à 10 000 ans, susceptible d'affecter la qualité de la matrice vitreuse (accumulations d'hélium, gonflement, modifications de la microstructure). A cet égard, le CEA a indiqué au cours de l'expertise retenir la valeur maximale définie dans la spécification DIRP SP16-00258, soit $2,5 \cdot 10^{19}$ α /g de verre. L'IRSN rappelle que dans le cadre de la demande d'accord de conditionnement des CSD-V selon cette spécification, dont l'objectif portait sur une augmentation de la valeur maximale de la dose α cumulée à 10 000 ans de $1 \cdot 10^{19}$ à $2,5 \cdot 10^{19}$ α /g de verre, l'ASN a estimé que la production de tels colis CSD-V ne remettait pas en cause la démonstration de leurs performances de confinement. Aussi, l'IRSN considère, s'agissant des effets de la dose α cumulée, que les colis produits auront, sur le principe, un comportement analogue aux colis produits sous la spécification DIRP SP16-00258. **Compte tenu de ces éléments et du faible nombre de colis définitifs qui seront produits, l'IRSN considère que l'augmentation des teneurs massiques en U et Pu pour la production de colis intermédiaires dans l'installation Atalante est acceptable.**

S'agissant enfin de l'impact du facteur d'échelle sur la transposabilité du comportement à long terme des colis CSD-V aux colis Atalante, le CEA a indiqué au cours de l'expertise que la valeur de surface développée à prendre en compte dans les modèles de relâchement sera déterminée à la suite d'un programme de recherche encore en cours de définition. Dans l'attente, l'IRSN relève que l'Andra retient pour le colis définitif, au stade de la demande d'autorisation de création de Cigéo, un modèle de relâchement analogue au verre de type R7/T7 avec la prise en compte des particularités dimensionnelles des colis vitrifiés intermédiaires le composant (surface et masse de verre). **Dès à présent, l'IRSN estime que compte tenu du faible nombre de colis de ce type à stocker dans Cigéo, l'analogie avec un modèle de relâchement analogue au verre de type R7/T7 en prenant en compte les particularités dimensionnelles du futur colis définitif Atalante est adaptée.** Les résultats du programme de

recherche mentionné par le CEA sur le comportement à long terme de ces colis devraient permettre d'affiner cette première estimation.

6. CONCLUSION

En conclusion, l'IRSN estime que la vitrification des solutions de PFA prévue par le CEA, selon les spécifications de production Orano, constitue une solution de conditionnement intermédiaire adaptée aux caractéristiques des solutions à conditionner, bénéficiant d'un retour d'expérience important et ne portant pas préjudice aux opérations de conditionnement ultérieures en vue de produire des colis définitifs. L'IRSN estime en outre que la vitrification des solutions de PFA confère un gain important à leur sûreté en entreposage par rapport à leur entreposage actuel en cuve. Toutefois, le CEA devra, préalablement à l'obtention de l'accord de conditionnement, finaliser son programme de qualification pour démontrer sa capacité à produire un colis de déchets vitrifiés de petite taille conforme aux spécifications Orano. L'IRSN estime par ailleurs opportun que le CEA clarifie sa démarche d'établissement des paramètres garantis et considère qu'il devra définir un paramètre garanti relatif aux teneurs massiques en actinides. Ces points sont repris dans les recommandations jointes en annexe au présent avis.

IRSN

Le Directeur général

Par délégation

Delphine PELLEGRINI

Adjointe au Directeur de l'environnement

ANNEXE 1 A L'AVIS IRSN N° 2024-00105 DU 05 JUILLET 2024

Recommandations de l'IRSN

Recommandation n° 1

L'IRSN recommande que le CEA démontre, en vue de l'obtention d'un accord de conditionnement des solutions de PFA en colis Atalante, sa capacité à produire un colis de déchets vitrifiés conforme aux spécifications Orano, en particulier s'agissant du respect du domaine de composition chimique, sur la base des résultats de son programme de qualification.

Recommandation n° 2

L'IRSN recommande que le CEA définisse, dans son référentiel de conditionnement, un paramètre garanti relatif aux teneurs massiques en U et Pu des colis intermédiaires Atalante en lien avec la maîtrise du risque de criticité et les performances de la matrice vitreuse.