

Fontenay-aux-Roses, le 22 mars 2017

Monsieur le Président de l'Autorité de Sûreté Nucléaire

Avis IRSN n° 2017-00080**Objet :** Spécification de production du colis substitutif au bitumage pour le conditionnement des boues STE2, dénommé colis C5, acceptabilité au stockage**Réf. :**
[1] Lettre ASN CODEP-DRC-2016-004403 du 4 avril 2016
[2] Décision ASN n°2008-DC-0111 du 2 septembre 2008 relative à la reprise et au conditionnement des boues actuellement entreposées dans l'atelier STE 2 (INB 38)
[3] Décision ASN n°2011-DC-0206 du 4 janvier 2011 portant prescriptions relatives au colis substitutif au bitumage des boues de l'atelier STE2 de l'usine de La Hague, dénommé colis C5

Par lettre citée en référence [1], l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) a demandé au président du Groupe Permanent d'experts pour les Déchets (GPD) de faire examiner par ce groupe, ainsi que par les experts du Groupe Permanent pour les laboratoires et Usines (GPU), le dossier de spécification de production du colis dit « C5 » et les études de sûreté relatives à son comportement dans les installations prévues pour son entreposage et son stockage en formation géologique profonde, en phase d'exploitation et de réversibilité, ainsi qu'à long terme. Ce colis est destiné à conditionner 9 300 m³ de boues radioactives entreposées dans la Station de Traitement des Effluents STE2 (INB 38) d'AREVA NC La Hague, dont l'activité totale est évaluée à 8,5 10¹⁶ Bq, au 1^{er} janvier 2016.

Adresse courrier
BP 17
92262 Fontenay-aux-Roses
Cedex France**Siège social**
31, av. de la Division Leclerc
92260 Fontenay-aux-Roses
Standard +33 (0)1 58 35 88 88
RCS Nanterre B 440 546 018

Les opérations de reprise et de conditionnement présentées par l'exploitant devraient mener à la production d'environ 11 000 colis C5 constitués de boues séchées et compactées, sous forme de pastilles centimétriques, introduites conjointement à du sable dans un conteneur en acier inoxydable. Il est envisagé d'entreposer les colis produits pendant 50 ans dans l'installation STE3, puis de les stocker dans l'installation de stockage en formation géologique profonde conçue par l'Andra (projet Cigéo).

La saisine de l'ASN citée en référence [1] demande l'examen technique des points suivants:

- *la caractérisation des boues devant être conditionnées ;*
- *le procédé de reprise et de traitement des boues préalable à leur conditionnement dans le colis C5 ;*
- *les caractéristiques du colis C5, ainsi que la complétude de sa spécification (paramètres garantis et complémentaires), en regard des objectifs de sûreté attendus, lors des différentes étapes de la filière de gestion envisagée ;*
- *la compatibilité des installations d'entreposage prévues avec les caractéristiques du colis C5, la démonstration de son intégrité en lien avec les conditions d'ambiance pendant la phase d'entreposage et la phase de réversibilité du stockage en couche géologique profonde, y compris en cas d'incident, en tenant compte entre autre des problématiques de radiolyse, de corrosion et de reprise d'humidité des boues séchées ;*
- *la faisabilité de son intégration dans le projet de stockage et le comportement à long terme en stockage du colis C5, en particulier vis-à-vis du relâchement de substances radioactives et de son influence sur les performances des autres composants du système de stockage.*

Les principales conclusions de l'expertise réalisée par l'IRSN en support à cet examen par les Groupes Permanents, en tenant compte des compléments transmis par l'exploitant lors de l'instruction, sont exposées dans le présent avis.

Il est à noter que les procédés de reprise, de traitement, et conditionnement des boues ont été examinés en regard de leurs capacités à produire un colis respectant les exigences fixées par la spécification. La sûreté proprement dite de ces procédés a été analysée par l'IRSN en 2014, et avait fait l'objet en particulier d'une demande portant sur la sûreté du procédé de séchage eu égard à la réactivité des boues. Au cours de la présente instruction, AREVA NC a fait état de « *difficultés à conserver des marges opérationnelles par rapport aux limites de sûreté, notamment pour les boues les plus exothermiques, ainsi que des difficultés qui paraissent réhivitoires en termes d'opérabilité et de maintenabilité des équipements, notamment pour le sècheur vertical à couches minces. Ces difficultés nous [AREVA NC] ont poussés à suspendre l'approvisionnement des équipements nécessaires au procédé de traitement (sècheur et presse). Les travaux liés à la reprise des boues et à leur homogénéisation se poursuivent, de même que ceux liés à la maîtrise de la réactivité de ces boues* ».

L'IRSN souligne ainsi que l'examen technique réalisé ne présage pas de la mise en œuvre effective du procédé de traitement des boues retenu à ce stade par AREVA NC.

1. Contexte et historique

Les boues actuellement entreposées dans l'installation STE2 sont issues du traitement d'effluents de faible et moyenne activité générés dans le cycle de retraitement des combustibles nucléaires usés, depuis 1966. Le principe de ce traitement consiste en la coprécipitation des radionucléides présents dans les effluents, principalement par ajout de sels de sulfates et de nitrates. La solution de conditionnement pour ces boues consistait en un enrobage dans une matrice bitumineuse. Néanmoins, les campagnes d'essais de bitumage des boues de STE2 en 2002 et en 2005 ont montré que, pour des raisons de sûreté, ces boues ne pourraient pas être conditionnées au moyen de ce procédé. En conséquence, l'ASN a, par la Décision du Collège de l'ASN citée en référence [2], interdit le bitumage des boues de STE2, et a demandé qu'AREVA NC étudie des solutions de traitement et de conditionnement alternatives.

AREVA NC a ainsi retenu un procédé de traitement des boues consistant à les déshydrater dans un sécheur vertical, jusqu'à l'obtention d'une poudre, introduite sous forme de pastilles compactées dans un conteneur en acier inoxydable. L'examen de cette solution alternative a conduit à la Décision du Collège de l'ASN citée en référence [3], demandant à l'exploitant de transmettre un dossier présentant, d'une part la spécification du colis produit au moyen de ce procédé, d'autre part la démonstration de l'intégrité du colis pendant les périodes d'entreposage et de réversibilité du stockage, ainsi que les éléments permettant d'analyser son acceptabilité vis-à-vis du relâchement des substances radioactives et du maintien des performances du système de stockage après fermeture. Les éléments demandés par cette Décision ont été transmis par l'exploitant entre 2012 et 2016.

2. Connaissance des boues à conditionner

L'exploitant avait transmis en 2012 une description de la stratification des boues en silo ainsi qu'un inventaire radiologique et chimique de référence des boues et les incertitudes associées. L'analyse de ce dossier a montré que la connaissance des caractéristiques des boues ensilées a notablement progressé mais que des incertitudes subsistent concernant notamment le contenu chimique et radiologique des boues. Au cours de la présente instruction, l'exploitant a transmis des résultats complémentaires sur les boues et surnageants de certains silos, qui n'ont toutefois pas permis de réduire les incertitudes précitées. L'inventaire de référence des boues n'a pas donc évolué suite à ces compléments d'analyses. **L'IRSN convient toutefois que la fiabilisation de la connaissance radiologique et chimique des boues ne pourra être réalisée que par une caractérisation complémentaire lors de leur reprise.** Cette caractérisation est bien prévue par l'exploitant ainsi qu'indiqué ci-après.

Les opérations de reprise envisagées par l'exploitant consistent en un pompage des boues par strates et leur transfert vers deux cuves de 250 m³ de l'installation STE2. La stratégie de reprise tient compte des contraintes mécaniques sur les voiles en béton entre certains silos, imposant de les vidanger en parallèle, ainsi que de contraintes radiologiques nécessitant de mélanger les boues de certains silos

lors de leur reprise. En effet, la description de la stratification précitée montre que certaines strates de boues présentent des activités incompatibles avec le dimensionnement des protections radiologiques de l'installation STE3 abritant le procédé de conditionnement.

Afin de consolider la connaissance des boues reprises, l'exploitant présente un programme de caractérisation chimique et radiologique des batchs de boues constitués dans les deux cuves dédiées. Ce programme permet notamment de vérifier la conformité de leur activité radiologique, pour autoriser ou non leur transfert vers l'installation STE3. De plus, l'exploitant mentionne que ce transfert obéira également à un critère de réactivité chimique des boues. **L'IRSN considère que les dispositions envisagées par l'exploitant sont de nature à améliorer la connaissance des boues et d'apporter les éléments nécessaires à la mise en œuvre des opérations de reprise des silos.**

Cependant, l'IRSN observe que, dans le cas où un batch serait jugé non conforme aux critères radiologiques, l'exploitant envisage un retour des boues dans leur silo d'origine. A cet égard, l'IRSN souligne que cette opération amènerait nécessairement une modification de l'état de stratification du silo dans lequel seraient renvoyées les boues non conformes, ce qui pourrait rendre caduque l'ensemble de la stratégie de reprise établie, celle-ci étant dépendante de la connaissance de l'état chimique et radiologique des strates identifiées. De plus, l'IRSN relève que la stratégie de reprise des boues, actuellement proposée, a été établie en l'absence des résultats des études portant sur la réactivité chimique des boues, dont la méthode d'analyse est en cours de qualification. **Dans ce contexte, l'IRSN considère que des dispositions doivent être prévues pour reconstituer des batchs de boues conformes, répondant aux critères radiologiques et de réactivité chimique définis en regard de la sûreté du procédé de traitement dans l'installation STE3. Par ailleurs, l'IRSN estime que d'autres modes de gestion des boues non conformes doivent être définis, afin de rendre la stratégie de reprise plus robuste.** Au cours de l'instruction, l'exploitant a indiqué qu'il réalisera l'étude de telles situations et définira les dispositions appropriées à mettre en œuvre.

3. Spécification de production du colis C5

L'exploitant a transmis un dossier de spécification de production du colis C5, présentant des paramètres garantis et complémentaires (dimensions du conteneur, masse d'extrait sec et siccité du déchet, autres caractéristiques physiques et chimiques).

Le conteneur retenu pour conditionner les boues séchées et compactées est un conteneur cylindrique en acier inoxydable 316L de 220 litres. Il est doté de deux couvercles équipés d'un système respirant, constitué de filtres en acier fritté, permettant l'évacuation des gaz de radiolyse émis par le déchet conditionné. Les caractéristiques dimensionnelles du conteneur et de son système respirant font l'objet de paramètres garantis. **A cet égard, l'IRSN considère qu'il est nécessaire de procéder à un contrôle du pouvoir filtrant du système respirant aux fines particules susceptibles d'être introduites dans le colis, puisque les boues séchées sont conditionnées dans le colis C5 sans matrice de blocage.** Au cours de l'instruction, l'exploitant a indiqué qu'il mettrait en œuvre un programme de surveillance spécifique destiné à s'assurer de ce pouvoir filtrant.

La masse d'extrait sec des boues introduites dans un colis fait l'objet d'un paramètre garanti (masse inférieure à 324 kg). Cette masse est déterminée à partir d'une pesée sur le colis rempli, en retranchant la masse d'un conteneur vide déclarée par le fournisseur. Or, l'incertitude tolérée sur l'épaisseur de la virole du conteneur peut conduire à une variation de masse de plus de 25 kg entre les différents conteneurs vides. Ceci induit une incertitude qui ne permet pas de garantir que la masse maximale d'extrait sec introduite dans le colis soit respectée. **L'IRSN estime ainsi nécessaire que chaque conteneur vide soit pesé avant son remplissage**, ce sur quoi l'exploitant a indiqué s'engager au cours de l'instruction.

L'exploitant annonce qu'une siccité des pastilles de boues supérieure à 95 % doit être garantie, afin de prévenir la formation d'eau libre dans le colis qui serait préjudiciable à sa résistance à la corrosion interne. En effet, le système respirant du colis C5 rend le déchet conditionné sensible aux conditions d'ambiance hygrométriques en entreposage, ainsi qu'en phase d'exploitation et de réversibilité du stockage. L'IRSN approuve la valeur de siccité retenue par l'exploitant mais observe qu'il ne prévoit pas de disposition de vérification de la siccité des pastilles avant leur introduction dans le colis. **A cet égard, l'IRSN estime nécessaire qu'un contrôle de la siccité, qui est un paramètre garanti, soit réalisé ; ceci fait l'objet de la recommandation n°1 présentée en annexe.**

Afin de maîtriser le risque de criticité dans le colis, l'exploitant prévoit de mesurer les masses d'uranium et de plutonium au cours de la caractérisation des boues en batchs et de les reporter dans la spécification au titre de paramètres complémentaires. Or, la justification de la sous-criticité dans le colis C5 repose la limitation de ces masses. **Ces paramètres étant ainsi nécessairement bornés, l'IRSN considère qu'ils doivent être garantis; ceci fait l'objet de la recommandation n°2 présentée en annexe.**

Par ailleurs, l'IRSN estime que les teneurs en produits organiques (fortement contributeurs à la production de gaz de radiolyse) ainsi qu'en cyanures libres et totaux (espèces présentant un risque de toxicité chimique) doivent également être spécifiées. L'exploitant s'est engagé, au cours de l'instruction, à recueillir ces données en complétant son programme de caractérisation des batchs de boues reprises.

Enfin, l'IRSN considère que les résultats des mesures de réactivité chimique actuellement prévues sur les batchs de boues pour valider leur conformité avec le procédé de séchage, sont également requis pour les études concernant la sûreté des installations recevant le colis, en particulier celles relatives aux risques liés à un incendie. Aussi, l'IRSN considère que les paramètres portant sur la réactivité chimique des colis constitués doivent être tracés dans la spécification, ce sur quoi l'exploitant a indiqué s'engager, au cours de l'instruction.

4. Comportement du colis C5 dans les installations d'entreposage et de stockage en phase d'exploitation et de réversibilité

Afin de démontrer que le colis C5 respecte les exigences de sûreté qui sont attendues, l'exploitant a transmis un ensemble d'études portant sur le comportement du colis dans les installations d'entreposage et de stockage en phase d'exploitation et de réversibilité.

L'exploitant a déployé un programme expérimental conséquent sur l'analyse du risque de corrosion du conteneur et de son système respirant, en tenant compte des conditions d'ambiance attendues dans les installations. Pour l'ensemble des essais réalisés, aucun phénomène de corrosion de l'acier 316L n'a été observé. L'IRSN considère sur cette base que le colis C5 présente selon toute vraisemblance une bonne résistance à la corrosion. Néanmoins, l'IRSN estime que ni la durée des essais, généralement limitée à 10 mois, ni leur caractère normalisé, ne peuvent rendre compte de l'ensemble des conditions d'environnement susceptibles d'être rencontrées dans les installations destinées à leur gestion. Il est en outre peu vraisemblable que des études supplémentaires puissent permettre d'exclure le risque de perte d'intégrité du colis C5 par corrosion sur les durées visées (50 ans d'entreposage puis 100 ans correspondant à la phase d'exploitation/réversibilité du stockage). **Aussi, l'IRSN considère qu'un programme de surveillance devra être mis en place lors de la phase d'entreposage des colis afin de prendre les mesures correctives adaptées en cas de détection d'une corrosion avérée. L'exploitant s'est engagé, au cours de l'instruction, à mettre en place un tel programme.** Par ailleurs, il apparaît nécessaire que le risque de perte d'intégrité d'un colis C5 soit inclus dans les études de dimensionnement de l'installation Cigéo et que les dispositions compensatoires, qui seraient éventuellement à mettre en place, soient définies.

L'exploitant a procédé à une évaluation de la production maximale d'hydrogène de radiolyse dans un colis, afin de s'assurer que les limites d'inflammabilité ne sont pas atteintes dans le ciel gazeux du colis, et de vérifier que le débit d'hydrogène émis par le colis respecte le critère défini pour son acceptation dans l'installation de stockage, après 50 ans d'entreposage. Néanmoins, l'IRSN relève que les hypothèses retenues dans les études menées par l'exploitant sur la reprise d'humidité du déchet ne prennent pas en compte la siccité initiale du déchet garantie par le procédé de séchage, mais une siccité supérieure (99 % au lieu de 95%). A cet égard **l'exploitant s'est engagé à réviser les études de reprise d'humidité avec une valeur de siccité correspondant au paramètre garanti, ce qui est satisfaisant. Les calculs portant sur la production d'hydrogène de radiolyse pourront ainsi être revus en conséquence.**

L'exploitant a étudié la résistance des colis à la rupture pour diverses sollicitations mécaniques représentatives de l'entreposage (manutention, gerbage, chutes). L'IRSN relève que ces calculs ne prennent pas en compte les divers états métallurgiques initiaux du colis comme données d'entrée (zones écrouies, zones soudées). **Aussi, l'IRSN considère que la résistance des colis à la rupture,**

pour les diverses sollicitations mécaniques envisagées, n'est pas démontrée. Ceci fait l'objet de la recommandation n° 3 présentée en annexe.

Enfin, comme évoqué précédemment, l'exploitant ne dispose pas, à ce stade, des résultats des études portant sur la réactivité chimique des boues conditionnées dans le colis C5. L'IRSN souligne que ces études sont indispensables à l'évaluation de la sûreté des installations d'entreposage et de stockage en phase d'exploitation et de réversibilité. En effet, la maîtrise du risque de dégagements thermiques liés aux réactions exothermiques entre sels doit être démontrée dans ces installations, en fonctionnement normal comme pour les états dégradés, en particulier en situation d'incendie. Ceci constitue un point majeur qui doit être pris en compte pour juger de l'acceptabilité du colis C5 dans les installations. Ce point est repris en conclusion du présent avis.

5. Comportement à long terme du colis C5 après la fermeture de l'installation de stockage

L'exploitant a transmis des études portant sur le comportement chimique des boues dans les conditions représentatives de l'évolution à long terme du stockage géologique des colis C5. Ces études montrent que les sels radioactifs libérés depuis les colis conservent globalement un caractère insoluble. Ceci n'appelle pas de remarque de la part de l'IRSN.

Par ailleurs, l'exploitant a transmis les résultats d'études expérimentales et théoriques sur l'impact chimique potentiel des sels sur les matériaux cimentaires de l'installation de stockage, ainsi que sur la roche hôte. L'IRSN estime que ces études sont de qualité et permettent de cerner les perturbations chimiques possiblement induites. En particulier, l'IRSN relève que le panache salin émis par les colis C5 disposés dans les alvéoles de stockage s'atténue sur une quinzaine de mètres dans la roche. Par ailleurs, la présence de sels, aux fortes concentrations étudiées, ne semble pas induire d'effet significatif sur les mécanismes de rétention des radionucléides dans la roche. Néanmoins, l'IRSN observe que les modélisations prédisent une agression des matériaux cimentaires de l'installation de stockage par les sulfates émis depuis les colis, susceptibles d'induire leur gonflement. Ainsi, sur la base des études transmises par l'exploitant, l'IRSN n'identifie pas d'effet rédhibitoire qui serait induit à long terme par les colis C5 dans l'installation Cigéo après fermeture, mais il convient de vérifier que le gonflement des matériaux cimentaires de l'installation, provoqué par la réaction avec les sulfates du colis, n'entraîne pas de conséquence mécanique significative sur la roche.

6. Conclusion

L'IRSN a évalué la stratégie retenue par AREVA NC pour la reprise des boues de STE2 ainsi que la spécification de production des colis dits « C5 » issus de la mise en œuvre des procédés envisagés. Cette spécification vise notamment à garantir que les propriétés du colis C5 sont compatibles avec les exigences de sûreté définies pour les installations destinées à le recevoir (entreposage puis stockage en formation géologique profonde).

S'agissant de la stratégie de reprise des boues, l'IRSN estime que les dispositions prévues par l'exploitant pour la vidange des silos et la caractérisation des boues sont pertinentes. En outre, les éléments transmis montrent que le procédé de traitement/conditionnement des boues devrait permettre de produire des colis répondant aux exigences fixées par la spécification. L'IRSN émet toutefois de fortes réserves sur le principe de traitement adopté (séchage sans inertage des boues) ainsi qu'exposé ci-dessous.

S'agissant de la spécification du colis C5, l'IRSN considère que le respect des paramètres qui y sont définis est de nature à assurer avec un bon niveau de confiance la maîtrise des risques liés à la corrosion des colis, à la criticité, au dégagement d'hydrogène de radiolyse et à la perte d'intégrité des colis sous diverses sollicitations mécaniques. L'IRSN n'identifie en outre pas de point rédhibitoire au stockage du colis C5 dans l'installation Cigéo pour ce qui concerne la sûreté à long terme de l'installation, après sa fermeture. Aussi, du point de vue des différents aspects qui viennent d'être évoqués, l'IRSN estime qu'un colis C5 répondant à la spécification précitée pourrait être acceptable en regard des exigences de sûreté des installations d'entreposage et de stockage prévues pour sa gestion, moyennant la prise en compte des remarques et recommandations formulées dans le présent avis.

Toutefois, le procédé de traitement des boues actuellement envisagé aboutit à la constitution d'un colis contenant un déchet chimiquement réactif, pour lequel des réactions exothermiques peuvent se déclencher, en particulier en situation d'incendie. Or, en l'état des études concernant la maîtrise du risque d'incendie affectant des colis de boues bitumées dans l'installation Cigéo, qui à l'instar du colis C5 présentent une réactivité chimique significative, il n'est pas possible d'exclure qu'un incendie affectant des colis réactifs de ce type ne conduise à un emballement thermique qui pourrait avoir des conséquences difficilement maîtrisables. Ceci peut constituer un obstacle rédhibitoire à l'acceptabilité du colis C5, tel que conçu, dans l'installation Cigéo.

Compte tenu de ce point auquel s'ajoutent les difficultés rencontrées pour démontrer la sûreté du procédé de séchage envisagé, l'IRSN considère que l'exploitant devrait d'ores et déjà s'orienter vers l'étude d'une solution de conditionnement permettant de neutraliser la réactivité chimique des boues de STE2. L'étude des procédés d'incinération/vitrification, qui permettent de dissocier les sels et de les incorporer dans une matrice vitreuse, semble, en l'état des connaissances, être une voie à explorer.

Cependant, malgré les doutes exprimés sur la pertinence du procédé de traitement et de conditionnement retenu pour les boues de STE2, l'IRSN considère que la reprise des boues ensilées reste une priorité de sûreté et que la possibilité de réaliser la première étape de reprise, consistant à vider les silos et caractériser les boues, devrait être étudiée dès à présent.

Pour Le Directeur général et par délégation,
François BESNUS,

Le Directeur des déchets et de la géosphère

Recommandations

- Recommandation n°1 : L'IRSN recommande que l'exploitant mette en œuvre une méthode de mesure de la siccité en phase de remplissage du colis, a minima une fois au cours d'une campagne correspondant au traitement d'un batch, afin de disposer d'une vérification du paramètre garanti portant sur la siccité du déchet, sur lequel s'appuie la démonstration de l'intégrité du colis en entreposage et en phase d'exploitation et de réversibilité du stockage, ainsi que le respect des exigences relatives à la production d'hydrogène de radiolyse.
- Recommandation n°2 : L'IRSN recommande que l'exploitant intègre les masses de matières fissiles, mesurées lors de la caractérisation des boues en batch, dans la liste des paramètres garantis de la spécification, au sens où la limitation de ces masses répond à un enjeu de sûreté à toutes les étapes du procédé de traitement et de conditionnement des boues.
- Recommandation n°3 : L'IRSN recommande que les états métallurgiques initiaux (zones affectées thermiquement, zones écrouies) soient considérés en données d'entrée dans l'ensemble des calculs présentés par l'exploitant concernant la tenue mécanique du colis dans les divers cas de sollicitation mécanique.