

1. Objet

Le PNGMDR [1] a identifié dans sa version 2022-2026 la nécessité de fiabiliser l'inventaire des déchets FA-VL et de poursuivre les études et la définition des spécifications techniques en vue de leur stockage (action FAVL1). Dans le cadre de cet objectif, l'article n°28 de l'arrêté du 9 décembre 2022 établissant les prescriptions du PNGMDR 2022-2026 demande que :

« Les producteurs de déchets radioactifs, en lien avec l'Andra, poursuivent leurs études, notamment sur la caractérisation et la définition de spécifications de conditionnement adaptées, pour le stockage des déchets de graphite à faible profondeur. Les résultats de ces études sont transmis avant le 31 décembre 2023 au ministre chargé de l'énergie. L'Autorité de sûreté nucléaire est saisie pour avis sur ces études. »

Le présent document constitue la réponse du CEA à cette demande.

2. Références

- [1] Plan National de Gestion des Matières et des Déchets Nucléaires 2022-2026
- [2] Courrier DSSN Dir 2021-575 « Inventaire radiologique 2021 des déchets de graphite du CEA (article 39 du PNGMDR) », 12/2021
- [3] Décision n° 2017-DC-0587 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 mars 2017 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage, homologuée par l'arrêté du 13 juin 2017
- [4] Courrier DSSN Dir 2023-0074 Réponse à l'article 30 du PNGMDR 2022-2026 « - Chroniques CEA de production de déchets de faible activité à vie longue et de leur envoi prévisionnel en stockage », 03/2023

3. Rappels sur l'inventaire physique et radiologique des déchets graphite détenus par le CEA

L'inventaire des déchets de graphite détenus sur sites CEA provient :

- Des modérateurs et réflecteurs en graphite des 3 réacteurs plutonigènes et électrogènes G1, G2 et G3 localisés sur le site de Marcoule ;
- Des chemises de graphite qui entouraient le combustible en provenance des réacteurs EDF Chinon A2 et Chinon A3. Ces chemises (sous forme de broyats) sont actuellement entreposées dans les fosses de l'atelier MAR400 de l'installation « Dégainage de Marcoule » ;
- Des réflecteurs des réacteurs expérimentaux à eau lourde EL2, EL3 sur Saclay et des bouchons de protection biologique du réacteur de recherche Rapsodie sur Cadarache.

Les déchets de graphite contiennent essentiellement des radionucléides issus de l'activation neutronique des impuretés (à l'état de traces) présentes initialement dans le graphite ou des impuretés apportées par le gaz caloporteur permettant de refroidir les réacteurs.

Les déchets de graphite des réacteurs UNGG G1, G2 et G3 ainsi que les chemises en graphite de Chinon A2 et Chinon A3 ont fait l'objet depuis 2015, d'un programme de R&D au CEA visant à améliorer la connaissance de leurs données radiologiques. La synthèse des résultats de ce programme fait l'objet du document [2] émis fin 2021 en réponse à l'article 39 de l'arrêté pris pour application du PNGMDR 2016-2018.

Annexe au courrier DSSN DIR 2023 – 0264

PNGMDR 2022-2026 – Article 28 de l'arrêté « PNGMDR » - Avancement des études sur le conditionnement des déchets graphites

Le programme mené par le CEA depuis 2015 a permis de mettre en œuvre une méthodologie calculs/mesures pour l'amélioration et la consolidation des inventaires des déchets de graphite provenant des empilements de G1, G2 et G3 : cette méthodologie a tout d'abord été appliquée au chlore 36, radionucléide à vie longue (RN) particulièrement important pour le stockage car mobile, puis étendue aux autres RN d'intérêt. Concernant les chemises en graphite des éléments combustibles des réacteurs EDF de Chinon A2 et A3, l'inventaire radiologique présenté dans [2] est basé principalement sur les résultats des campagnes de mesures radiologiques effectuées en 2019 sur des échantillons prélevés en 2009 et des regroupements d'informations bibliographiques (traçabilité, historique de flux..., permettant d'avoir une connaissance plus précise de l'origine de ces déchets). Cette méthodologie permet d'estimer l'activité radiologique des principaux RN contenus dans ces déchets de graphites.

L'inventaire physique et radiologique des déchets graphite obtenu à l'issue de ce programme est synthétisé dans le tableau ci-dessous [2].

Activité (TBq) 2021	G1	G2	G3	Chemises A2 et A3	EL2	EL3	Rapsodie
Masse (t) Contribution à la masse (%)	1200 (25,7%)	1302 (28%)	1302 (28%)	730 (15,7%)	57 (1,2%)	52 (1,1%)	12 (0,3%)
Méthode	Calculs/Mesures ¹		Calculs ²	Mesures A _{moy} ³	Estimation ⁴		
³ H	14,86	24,39	257,29	36,90	0,60	0,47	0,013
¹⁰ Be	4,92E-04	1,61E-04	1,86E-04	-	-	-	-
¹⁴ C	26,67	20,52	20,71	7,85	0,67	0,24	0,006
³⁶ Cl	6,9E-03	1,9E-01	6,0E-01	7,0E-03	7,4E-02	6,8E-02	2,9E-06
⁴¹ Ca	4,3E-02	7,6E-03	2,2E-01	-	-	-	-
⁵⁹ Ni	3,1E-03	2,9E-02	3,0E-02	6,0E-02	4,2E-03	8,1E-03	3,1E-05
⁶⁰ Co	0,0042	0,081	0,26	-	-	-	2,9E-06
⁶³ Ni	0,26	2,83	3,02	0,45	0,30	0,30	3,6E-04
^{93m} Nb	6,6E-03	5,2E-03	3,6E-03	-	-	-	-
⁹³ Mo	8,0E-03	6,0E-05	7,1E-04	-	-	-	-
¹³⁷ Cs	1,1E-02	1,8E-02	5,6E-03	3,0E-02	3,2E-03	4,1E-03	-
⁹⁰ Sr	9,0E-03	6,9E-03	2,6E-03	-	3,6E-03	4,6E-03	-
⁹⁴ Nb	6,0E-04	1,1E-03	5,4E-04	-	-	-	-
¹³³ Ba	1,4E-03	8,2E-03	1,2E-02	-	6,1E-03	4,7E-03	-
¹⁵² Eu	2,0E-02	1,2E-02	6,3E-03	2,0E-02	3,2E-02	2,3E-02	6,3E-05
¹⁵⁴ Eu	9,7E-03	3,5E-02	7,7E-02	1,1E-01	1,8E-02	1,9E-02	7,8E-06
¹⁵⁵ Eu	1,3E-04	1,9E-03	6,1E-03	2,0E-02	2,4E-04	3,8E-04	-
A _{Tot} (TBq)	41,93	48,19	282,29	45,45	1,71	1,56	0,020
A _{Tot} (TBq) G1,G2,G3 = 372,41							
A _{Tot} (TBq) = 421,15							

1 : très fiable ; 2 : fiable ; 3 : amélioration possible ; 4 : majorante.

4. Conditionnement envisagé pour les déchets graphite

En l'absence de spécifications d'acceptation dans un stockage FAVL, le conditionnement envisagé par le CEA pour les déchets de graphite est un caisson à parois planes (CPP) actuellement utilisé pour le conditionnement des déchets compatibles avec la filière FMA-VC sur le site de Marcoule sous l'approbation « 9X ». La stratégie du CEA est de généraliser l'utilisation de ce caisson pour la filière FMA-VC, et de l'étendre aux déchets éligibles à la filière FAVL pour en faire un colis « multi filières » de sorte à optimiser la gestion des déchets issus des chantiers de RCD et de démantèlement.

Le principe retenu consiste à placer les déchets de graphite dans une boîte intermédiaire (BI), elle-même conditionnée dans un caisson pré-bétonné. Le graphite est immobilisé par un liant hydraulique dans la BI et l'ensemble est immobilisé par du mortier confinant et auto-plaçant MC50. Le CPP type 9X pré-bétonné et immobilisé par le mortier MC50 est agréé par l'Andra.

Les caissons métalliques pré-bétonnés à parois planes sont conçus suivant le plan spécificateur Andra avec pré-bétonnage intérieur en mortier MC50 confinant et auto-plaçant.

La boîte intermédiaire (BI), de volume 2,8 m³, est un emballage métallique utilisé pour collecter des déchets technologiques de grandes dimensions.

Le mortier d'immobilisation MC50 est élaboré et approvisionné par un fournisseur extérieur. Le respect de l'ensemble des exigences Andra a été démontré : confinement, caractéristiques mécaniques, résistance au cyclage thermique... L'immobilisation des colis par le mortier MC50 garantit l'absence d'eau libre dans le colis.

Les CPP respectent également l'ensemble des exigences Andra sur le colis fini :

- L'immobilisation des CPP avec le mortier MC50 garantit une bonne qualité d'immobilisation et la continuité de l'enveloppe interne avec une épaisseur de confinement minimale de 56 mm ;
- Le colis CPP est également homologué IP2 (essais de chute pour une masse maximale de 15 400 kg) ;
- Le colis CPP tient à une tenue sous charge de 0,7 MPa.



Ce conditionnement fait l'objet d'un retour d'expérience sur son utilisation de plusieurs années pour la boîte intermédiaire (environ 100 BI produites par an) et 2 ans pour le colis 9X dont l'autorisation d'approbation a été fournie par l'ANDRA en juin 2021. A date, environ 100 colis 9X ont été produits et expédiés vers le CSA.

5. Stratégie de gestion des déchets graphite et éléments de calendrier

La production des déchets de graphites issus du démantèlement des réacteurs et de la reprise des fosses de MAR400 débutera au plus tôt à partir de 2040 [4].

Le démantèlement des blocs réacteurs G1, G2, G3 est prévu au-delà de 2040, en cohérence avec la démarche issue du programme de démantèlement EDF de ses réacteurs UNGG, et avec l'échéance a priori de disponibilité d'un stockage FA-VL. La durée de démantèlement de chaque bloc réacteur est estimée autour de 25 ans et leur enclenchement est prévu avec un léger décalage les uns par rapport aux autres afin de maximiser le retour d'expérience tout en restant dans un calendrier global raisonnable ; les 3 démantèlements, la production des déchets associés et leur expédition en ligne s'échelonnent donc sur la seconde moitié du 21^{ème} siècle. Le scénario final de démantèlement reste néanmoins en cours de définition et s'appuiera sur les expériences conduites en commun avec EDF dans le cadre du Démonstrateur Industriel Graphite.

Ainsi, la feuille de route prévoit la définition du scénario de démantèlement adossée à des études à partir de 2024 suivies d'essais sur le Démonstrateur industriel Graphite d'EDF à partir de 2027, permettant de consolider la stratégie de gestion des déchets. A ce stade, sur la base de l'inventaire radiologique et des hypothèses de conditionnement présentées, le CEA considère qu'une partie des déchets de graphite pourrait être éligible à la filière FMA-VC. Le concept de colis multi filières permet d'anticiper une répartition des déchets à produire entre les deux filières.

Conformément à la décision [3], l'autorisation de production des déchets nécessitera une approbation délivrée par l'Andra si le stockage est opérationnel, ou un accord de conditionnement s'il est encore en projet. Le CEA prévoit de constituer ce dossier environ 5 ans avant la date de besoin.

Le CEA s'assurera en amont de cette échéance, en lien avec l'Andra, de la pertinence de ce choix de conditionnement. Les éléments disponibles sur les caractéristiques des déchets et les données déjà obtenues sur le caisson CPP de type 9X agréé par l'Andra, constituent un socle solide pour échanger avec l'Andra sur les conditions d'acceptation de ces colis au CSA. Ce colis a été proposé à l'Andra comme donnée d'entrée à utiliser pour les études de type pré-faisabilité d'un stockage en sub-surface sur le site de Soulaïnes, en cours dans le cadre de la réponse à l'article 33 du PNGMDR 2022-26. Si les déchets de graphite du CEA sont retenus dans l'inventaire candidat au site de Soulaïnes, les études prévues en vue de déposer un Dossier d'Options de Sécurité permettront de disposer d'une première version de spécifications d'acceptation, prérequis pour confirmer, ou ajuster si besoin, le concept de colis à retenir.