



	Chrono diffusion (code barre) : CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17KKEG000039 diffusé le : 21/12/17

Direction de l'Energie Nucléaire
Centre de Marcoule
Direction Démantèlement des Centres Civils
Unité de reprise et conditionnement des Déchets Hors Bitume (UDHB)

Note Technique



Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des
déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés
UNGG

DDCC/UDHB/NT/DIR/2017-008 Ind.0

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17KKBG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 2/23
	<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038		
	<u>Date</u> : 21/12/2017		<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

SOMMAIRE

1.	Introduction.....	3
2.	Objectifs du traitement/conditionnement des déchets.....	4
3.	Déchets à conditionner : nature et caractéristiques.....	5
3.1	magnésiens : nature et caractéristiques.....	5
3.2	Déchets de procédés : natures et caractéristiques	11
4.	Schéma de reprise des déchets magnésiens	13
4.1	scénario de reprise et conditionnement des déchets magnésiens de la fosse 0: phase pilote	13
4.1.1	Scénario de RCD de la fosse 0.....	13
4.1.2	Etat d'avancement de la R&D sur la mise au point de la matrice de blocage Géopolymère.....	15
4.2	Scénario de reprise et conditionnement des magnésiens MAVL	17
4.2.1	Hypothèses sur le Conditionnement intermédiaire	17
4.2.2	L'entreposage futur en alvéole.....	18
5.	Schéma de reprise des déchets de procédé	18
5.1	phase pilote fosses G, H et J - Installation UDH	19
5.2	Scénario de reprise et conditionnement des déchets de procédé MAVL	21
6.	Planning directeur.....	23

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17KKBG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 3/23
		<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038	
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

1. INTRODUCTION

L'arrêté du 23 février 2017, pris pour application du décret n° 2017-231 du 23 février 2017 établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, demande dans son article 50 que *"Le CEA transmette au ministre chargé de l'énergie avant le 31 décembre 2017, son schéma de reprise des déchets de structure de type gaines magnésiennes des combustibles usés UNGG et des déchets pulvérulents issus du traitement de combustibles usés UNGG entreposés à Marcoule ainsi que le plan de développement des unités de conditionnement associées, accompagnées d'un calendrier justifiant le respect de l'échéance définie par l'article L. 542-1-3 du code de l'environnement. L'ASN et l'ASND sont saisies pour avis sur ce schéma ».*



Les programmes de Reprise et Conditionnement des Déchets (RCD) magnésiens et procédé (également dénommés pulvérulents) ont été construits en intégrant au premier ordre les priorisations techniques et de sûreté qui ont été proposées dans le cadre de la mise à jour de la stratégie de démantèlement du CEA. Ce dossier de stratégie a été envoyé aux autorités de sûreté (ASN, ASND) et à la DGEC en décembre 2016.

Les opérations en A&D et RCD des installations nucléaires sont pilotées au 1^{er} ordre par les enjeux de sûreté, les ressources disponibles et la recherche d'une progressivité dans la maîtrise de la complexité technique :

- Il s'agit ainsi d'évacuer un Terme source dit mobilisable,
- Il s'agit de supprimer l'occurrence potentielle de scénarios accidentels particuliers pouvant conduire à des rejets dans l'environnement,
- Il s'agit de fiabiliser les options technologiques retenues lors des différentes phases du projet (APS, APD) pour la reprise et le conditionnement des déchets au moyen de chantiers pilote.

Des scénarios alternatifs pour l'A&D et la RCD sont également examinés, dans le but de gérer les risques des projets et évaluer l'impact d'évolutions de la réglementation ou d'évolutions des modalités de gestion des colis de déchets en stockage.

Il est également demandé à l'article 50 du décret PNGMDR de justifier le respect de l'échéance définie par l'article L. 542-1-3 du code de l'environnement, en l'occurrence de conditionner avant 2030 des déchets produits avant 2015. Compte tenu de l'avancement du projet et des incertitudes techniques qui demeurent, tant sur les spécifications d'acceptation et les dates d'ouverture des exutoires finaux (lesquelles contraignent à leur tour les solutions de conditionnement), **le respect de l'article L-542-1-3 n'est plus réaliste à ce jour**. Notre vision est qu'environ 30 % en masse de ces déchets seront repris avant le 31/12/2030, que la reprise des déchets MAVL magnésiens sera finalisée avant 2036 et que la reprise des autres déchets MAVL (procédé) sera achevée avant fin 2039 ; la reprise des déchets magnésiens hors MAVL (FMAVC) se terminera également en 2039.

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17KKBG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 4/23
	<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038		
	<u>Date</u> : 21/12/2017		<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

Notre vision est qu'environ 30 % en masse de ces déchets seront repris avant le 31/12/2030 et que la reprise de ces déchets MAVL sera achevée avant fin 2039.



Pour autant, les projets de RCD sont à un stade d'avancement permettant de présenter dès aujourd'hui des acquis sur la connaissance radiochimique des déchets, ainsi que sur les solutions technologiques envisagées, qui seront à conforter d'engager la réalisation des opérations techniques.

2. OBJECTIFS DU TRAITEMENT/CONDITIONNEMENT DES DECHETS

Pour rappel, les opérations de traitement/conditionnement des déchets radioactifs visent à réduire la nocivité des déchets bruts ou primaires, faciliter la gestion en entreposage d'attente puis la gestion définitive à long terme par mise en stockage géologique.

Le conditionnement des déchets est réalisé selon la démarche générique globale suivante :

- Etablissement de l'inventaire radiologique et physico-chimique des déchets (calculs, investigations, mesures).
- Etude et développement d'un procédé de conditionnement (au cas où un procédé de conditionnement actuellement opérationnel ne permettrait pas de prendre en charge le traitement du déchet) :
 - Recherche d'un taux de charge optimum en déchets dans le colis,
 - Recherche et mise au point d'un procédé «nucléarisable»,
 - Recherche d'un colis confinant le terme source radiologique.
 - Recherche de l'optimum technique, économique et de sûreté.
- Etude des propriétés de confinement du colis (en phase d'entreposage puis de stockage, selon les spécifications de ce dernier lorsqu'elles sont établies), principalement celles en lien avec :
 - La tenue mécanique et son évolution dans le temps,
 - La stabilité thermique,
 - La stabilité à l'auto-irradiation de la matrice de conditionnement,
 - La durabilité chimique du colis dans les conditions d'environnement du stockage, (conditions aux limites fixées), définissant un terme source radiologique,
 - Le terme source Gaz (H2 de radiolyse, ...).

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17KKBG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 5/23
		<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038	
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

3. DECHETS A CONDITIONNER : NATURE ET CARACTERISTIQUES

Les déchets relevant d'opérations de RCD entreposés dans les installations de Dégainage de Marcoule sont constitués principalement des déchets de structures de type gaines magnésiennes des combustibles usés UNGG et des déchets de procédés de traitement des combustibles usés UNGG, également dénommés pulvérulents. Pour chacune de ces catégories de déchets, une partie relève d'un stockage de surface au Centre de stockage de l'Aube (CSA) compte tenu de son activité radiologique, l'autre d'un stockage géologique profond CIGEO à l'étude (déchets MAVL). Ces populations de déchets MAVL ayant été produites avant 2015, et étant actuellement non conditionnées, les exigences de l'article L. 542-1-3 leur sont donc applicables.

3.1 MAGNESIENS : NATURE ET CARACTERISTIQUES

Les déchets magnésiens sont les résidus des gaines à ailettes en alliage de magnésium (Mg-Zr 0,6% massique principalement) dans lesquelles étaient placés les combustibles de la filière UNGG (réacteurs G1, G2/G3, EDF Saint-Laurent, Chinon et Bugey, et Vandellos).

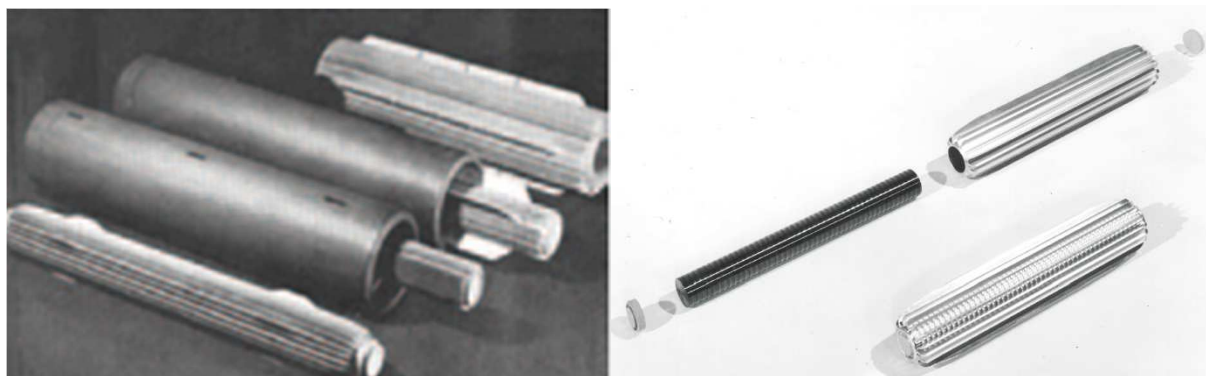




Figure 1. Exemples de combustibles et leur cartouche (réacteur UNGG électrogène à gauche, réacteurs plutonigène G2/G3 à droite)

En effet jusqu'au début des années 90, les combustibles irradiés dans les réacteurs cités ci-avant étaient réceptionnés dans les installations Dégainage où était réalisée la séparation mécanique du combustible de sa gaine en magnésium. Le combustible était ensuite retraité dans une autre installation. Les gaines en alliage de magnésium étaient entreposées dans des fosses des installations de Dégainage, fosses dans lesquelles elles sont encore aujourd'hui.

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  diffusé le : 21/12/17	NT	Page 6/23
		<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038	
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

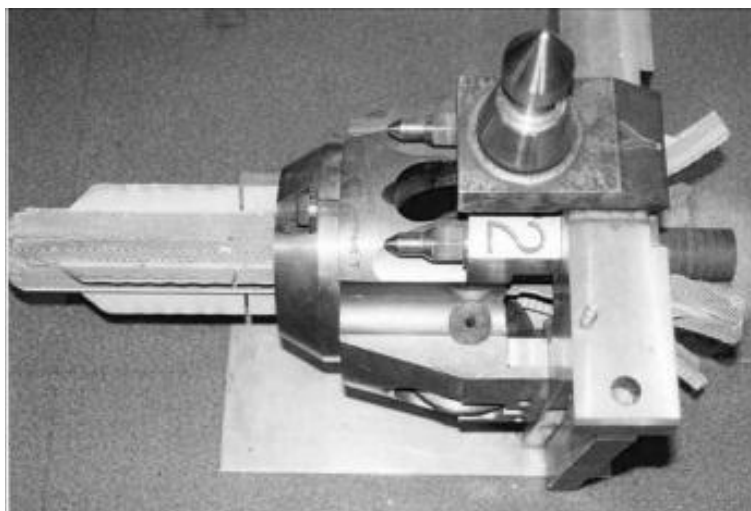


Figure 2. Outil de dégainage mécanique (maquette inactive)

Les déchets magnésiens sont entreposés dans 17 fosses réparties dans les différents bâtiments constituant l'Installation Individuelle Dégainage (DMG1, DEG G2/G3 et MAR400). Les fosses d'entreposage des déchets magnésiens sont des fosses sous air, et toutes sont ventilées à l'exception de la fosse 0. L'entreposage est « à sec ».



CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR
DO 38 21/12/17



difusé le : 21/12/17

NT

Page 7/23

Accord : / sans

Réf. : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008



Chrono : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038

Date : 21/12/2017

Indice : 0

Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG

Bâtiment	Fosse	Catégorie	Masse totale déchets (t)
DM G1	Fosse 0	FMAVC	51,5
DEG G2-G3	Fosse 1	FMAVC	49,6
DEG G2-G3	Fosse 2	FMAVC	37,4
DEG G2-G3	Fosse 3	FMAVC	39,0
DEG G2-G3	Fosse 4	FMAVC	58,2
DEG G2-G3	Fosse 5	Mélange 50/50	59,6
DEG G2-G3	Fosse 6	Mélange 50/50	62,3
DEG G2-G3	Fosse 8	Mélange 50/50	105,2
DEG G2-G3	Fosse 9	Mélange 50/50	175,0
DEG G2-G3	Fosse 10	Mélange 50/50	141,0
DEG G2-G3	Fosse 12	MAVL	185,4
DEG G2-G3	Fosse 13	MAVL	123,0
DEG G2-G3	Fosse 15	MAVL	27,0
MAR 400	Fosse MG1	MAVL	27,0
MAR 400	Fosse MG2	MAVL	172,0
MAR 400	Fosse MG3	MAVL	36,8
MAR 400	Fosse MG4	MAVL	280,0
Total			1 630,0

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17KKBG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 8/23
	<u>Accord</u> : / sans		
	<u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008		
	<u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038		
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			



Environ 1 630 tonnes de déchets magnésiens sont entreposés, dont 510 tonnes relèvent de la catégorie FMAVC qui seront à stocker au CSA (Centre de Stockage de l'Aube).

Les déchets de catégorie MAVL, orientés vers le futur stockage Géologique profond CIGEO à l'étude par l'ANDRA, ont une activité radiologique, ré-estimée très récemment (2017), de l'ordre de 2100 GBq/kg en émetteur bêta-gamma et 1,6 GBq/kg en émetteurs Alpha.

Les résidus de gaines sont plus ou moins fragmentés ou compactés avant d'avoir été placés en fosse. On retrouve majoritairement des gaines entières dans les premières fosses mises en service, puis des gaines coupées longitudinalement, des brins longitudinaux brisés, et enfin dans les dernières fosses exploitées des résidus après broyage dont la dimension est centimétrique. Une phase intermédiaire de compactage préalable des brins a également eu lieu pendant quelques années.



Figure 3. Photographies de gaines entreposées en fosse

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17KKBG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 9/23
	<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038		
	<u>Date</u> : 21/12/2017		<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

Les caractéristiques physiques et radiologiques des gaines produites au fur et à mesure des remplissages des fosses sont connues. Néanmoins, ces données, constituées principalement dans le but de procéder soit à des bilans de matières nucléaires, soit à des recalages des modèles simulant l'irradiation des cartouches de combustibles, sont insuffisantes pour une reprise de ces déchets et pour leur conditionnement en vue de leur envoi vers les sites de stockage de l'ANDRA.

Les déchets de structure font donc l'objet d'une campagne de prélèvement nécessaire à la consolidation des inventaires radiologiques et physico-chimiques. Les résultats de cette campagne sont disponibles pour la fosse 0. Les prélèvements et analyses des autres fosses sont en cours.

Les premiers prélèvements en fosses contenant des déchets MAVL ont été réalisés en 2016 avec les fosses 12, 13 et 15 du Dégainage G2/G3. Ils se poursuivront jusqu'en 2021, en s'achevant avec l'échantillonnage des fosses de MAR400.

Ces opérations de prélèvement nécessitent une phase de préparation importante au cours de laquelle les trémies d'accès aux fosses sont testées une à une afin de vérifier leur opérabilité ainsi que l'encombrement en fosse à leur aplomb. Ces éléments permettent :

- de choisir les trémies offrant la possibilité d'échantillonner le contenu le plus efficacement. ;
- de concevoir les moyens télé opérés nécessaires au prélèvement.

La phase de réalisation des prélèvements, à proprement parler, voit ensuite la mise en œuvre de structures de confinement dédiées permettant la mise en œuvre des moyens télé opérés de prélèvement, la mise au gabarit de l'échantillon en vue de sa réception par le laboratoire de Marcoule, et son chargement en emballage de transport.

Il est à noter que ces prélèvements se limitent à la partie supérieure du tas de déchets en fosse. Les couches inférieures ne sont pas accessibles sans la mise en œuvre de moyens analogues à ceux qui seront employés en phase industrielle de RCD.



CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR
DO 38 21/12/17
17KKBG000039
diffusé le : 21/12/17

NT

Page 10/23

Accord : / sans

Réf. : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008

Chrono : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038

Date : 21/12/2017

Indice : 0

Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG

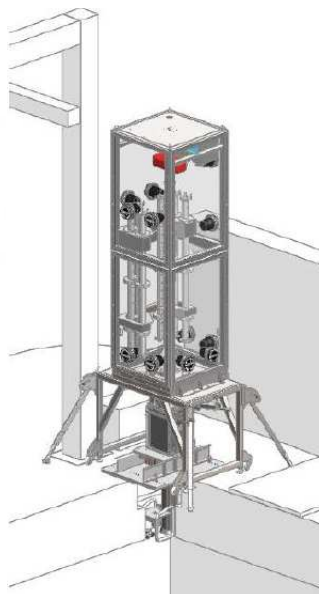
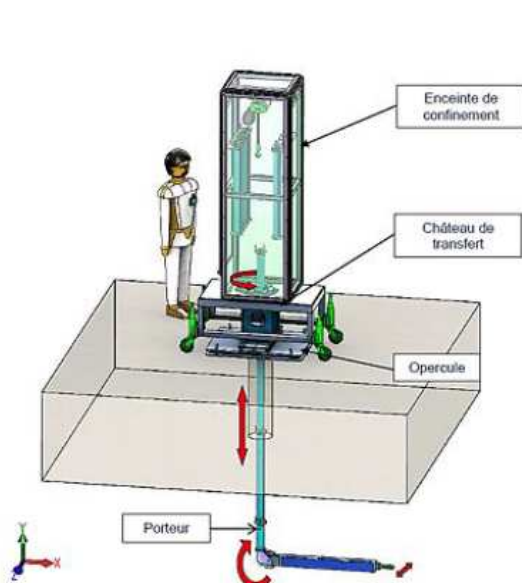




Figure 4. Dispositifs techniques mis au point pour opérer des prélèvements de gaines dans les fosses d'entreposage.

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  diffusé le : 21/12/17	NT	Page 11/23
		<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038	
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

3.2 DECHETS DE PROCEDES : NATURES ET CARACTERISTIQUES

Les déchets de procédés, également appelés pulvérulents, ont principalement 2 origines :

- L'élimination du graphite qui, pour certains modèles de combustible UNGG, étaient insérés au milieu du barreau de combustible. Ce sont des combustibles à âme graphique. Le graphite éliminé était également pour certains combustibles sous la forme de chemises en graphite, de type cylindrique enveloppant la cartouche. Son élimination mécanique lors des opérations de dégainage, qui étaient réalisées sous eau, conduisait à la production de particules de graphite de quelques dizaines de micromètre à quelques millimètres. L'eau chargée de graphite était décantée dans des fosses pré décanteur et décanteur, où par conséquent s'est accumulé du graphite ;
- Les systèmes de traitement des eaux des piscines de réception des combustibles et des fosses de dégainage mécanique. Il s'agit de matériaux de filtration et d'extraction chimique : résines échangeuses d'ions, zéolithe, poudre de diatomées, ...



Figure 5. Photographies de prises d'échantillon de déchets de procédé

Les déchets de procédés étaient initialement entreposés dans 2 bâtiments différents de l'Installation Individuelle Dégainage. Le bâtiment DEG G2/G3 présentant un niveau de sûreté moindre que le bâtiment MAR400, les déchets de procédés MAVL qu'il contenait ont été dans un premier temps transférés dans ce second bâtiment. Ainsi actuellement, les déchets de procédés sont tous entreposés sous eau dans MAR400 dans 6 fosses. Seuls subsistent dans DEG G2/G3, des déchets dans les fosses à effluents historiques de l'installation, les fosses G, H et J. Ces déchets relèvent d'un stockage au CSA (après conditionnement dans une matrice cimentaire). Leur quantité est faible, environ 5 tonnes de matières sèches.

Les déchets de procédé représentent un inventaire total d'environ 600 tonnes dont un peu plus de 230 tonnes de catégorie MAVL ont une activité radiologique de l'ordre de 5 GBq/kg en émetteur bêta-gamma et 0,2 GBq/kg en émetteurs Alpha, soit un facteur 1000 inférieur à celle des déchets de structure.



CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR
DO 38 21/12/17



17KKBG000039

diffusé le : 21/12/17

NT

Page 12/23

Accord : / sans

Réf. : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008

Chrono : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038



Date : 21/12/2017

Indice : 0

Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG

Bâtiment	Fosse	Catégorie	Masse totale déchets (t)
MAR 400	Prédécanteur	FMAVC	253,0
MAR 400	Zéolithe sud FMAVC	FMAVC	88,0
MAR 400	Décanteur	MAVL	89,0
MAR 400	Zeolithe Nord 1	MAVL	73,0
MAR 400	Zeolithe Nord 2 FMAVC	FMAVC	31,0
MAR 400	MA Est	MAVL	63,0
MAR 400	MA Ouest	FMAVC	2,0
Total			599,0

Les déchets de procédé ont fait l'objet d'une nouvelle campagne de prélèvements, démarrée en 2013 et aboutie en 2016, pour laquelle la majorité des analyses radiologiques des prises d'échantillon est maintenant disponible. Les analyses chimiques sont par contre toujours en cours. L'ensemble des caractéristiques (physico chimiques, radiologiques) devraient être disponibles fin 2018

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17KKBG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 13/23
		<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038	
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

4. SCHEMA DE REPRISE DES DECHETS MAGNESIENS

La reprise des déchets magnésiens nécessite la mise en œuvre de moyens spécifiques tant sur le plan technique que réglementaire. Aussi, afin de progresser tout en limitant l'exposition du projet de reprise et conditionnement à de trop gros risques industriels, le CEA a décidé de mettre œuvre un schéma de reprise en 2 étapes.

La première étape constituera une phase pilote visant à qualifier des choix techniques et obtenir les premières autorisations de sûreté en vue de la reprise et conditionnement des déchets. Ces choix techniques ainsi testés serviront de base à la seconde étape de la reprise des déchets magnésiens.

Cette opération pilote concerne la fosse 0. Le choix s'est orienté vers cette fosse car :

- sa configuration géométrique est similaire à celle des autres fosses ;
- les déchets sont semblables à la majorité des déchets à reprendre lors de la seconde étape ;
- ses inventaires radiologique et physique sont faibles ;
 - ce qui permettra de tester et faire évoluer en tant que de besoin les moyens de reprise en vue de leur utilisation lors de la seconde étape
 - de limiter l'exposition du personnel lors de la mise au point du procédé de reprise et conditionnement ;
 - l'exutoire ANDRA est connu et les spécifications d'accueil de celui-ci existent.

La seconde étape sera la phase « industrielle » durant laquelle les solutions de la phase pilote, qui auront donc été éprouvées sur la fosse 0, seront réemployées et étendues aux autres fosses contenant des déchets MAVL et FMAVC.

4.1 SCENARIO DE REPRISE ET CONDITIONNEMENT DES DECHETS MAGNESIENS DE LA FOSSE 0: PHASE PILOTE

4.1.1 Scénario de RCD de la fosse 0

La fosse 0 contient environ 51 tonnes de déchets magnésiens de catégorie FMAVC.

Le scénario de RCD de la fosse 0 prévoit une reprise et un tri des déchets directement en fosse, puis une extraction des déchets hors fosse, leur caractérisation radiologique, suivi de leur conditionnement en caisse métallique d'environ 2,5 m³, désignée Boîte Intermédiaire (BI) et leur blocage par un liant hydraulique de type géopolymère. La caisse de déchets est ensuite expédiée vers un atelier de conditionnement des déchets solides, où elle s'intègre au flux classique de conditionnement en colis en béton fibré CBFK, qui sont ensuite expédiés au CSA.

Le blocage par un liant hydraulique de type géopolymère (matrice minérale aluminosilicatée activée à la soude) de déchets radioactifs est une solution novatrice en France. Il convient toutefois de souligner que des matériaux géopolymères ont déjà été employés à l'étranger (Slovaquie et République Tchèque par exemple) pour



CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR
DO 38 21/12/17



difusé le : 21/12/17

NT

Page 14/23

Accord : / sans

Réf. : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008

Chrono : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038

Date : 21/12/2017

Indice : 0

Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG

conditionner des déchets radioactifs. Une formulation spécifique a été développée au CEA pour bloquer les déchets magnésium.

Des dispositions particulières sont également prévues d'être mise en œuvre pour gérer le risque d'incendie en fosse durant les opérations de reprise des gaines en magnésium. Il s'agit principalement de mesures de surveillance accrues via des mesures physiques différentes (température et contamination l'atmosphère extraite de la fosse, caméra, ...) et de dispositions graduelles d'extinction (étouffement par inertage de la fosse, injection de poudre extinctrice). Ces dispositions doivent être validées par l'Autorité de Sûreté Nucléaire de Défense (ASND) avant de pouvoir débuter les opérations de reprise. Par ailleurs, dans un premier temps, le CEA prévoit un moyen de reprise dextre, mais par conséquent peu capacitif, afin de limiter les perturbations de l'empilement de déchets en fosse. Le retour d'expérience acquis après les premières tonnes de magnésium reprises, concernant la cadence de reprise et l'absence de départ d'incendie, devrait permettre au CEA de faire évoluer ce moyen vers un moyen plus capacitif.

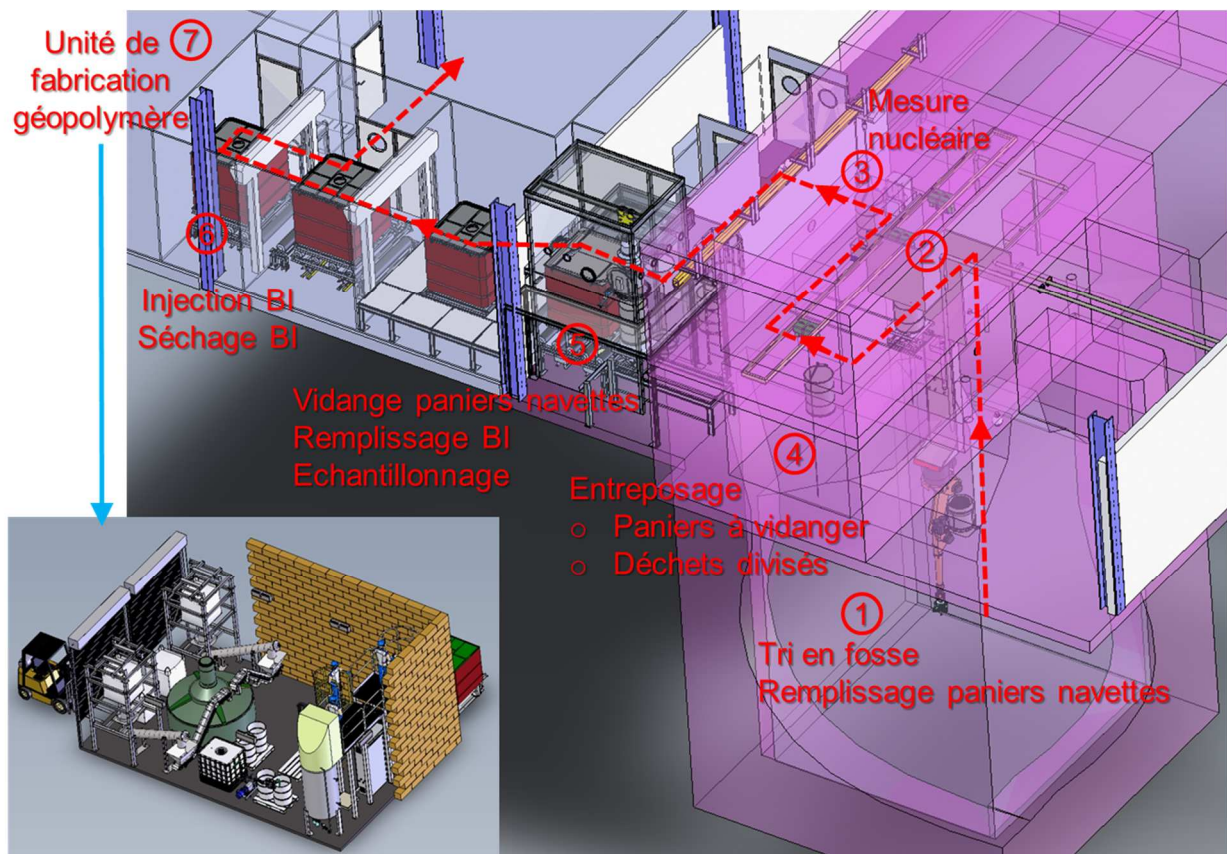




Figure 6. Vue 3D des équipements de RCD de la fosse 0 au démarrage des études d'Avant-Projet Détaillé

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17KKBG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 15/23
		<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038	
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

Les études d'Avant-Projet Détaillé et de réalisation ont débuté en septembre 2017. Les processus d'autorisation ASND et d'agrément ANDRA du futur colis de déchets bloqués par du géopolymère vont se dérouler en parallèle de ces études

Le CEA prévoit une mise en service des équipements de RCD de la fosse 0 en 2022 pour une fin de reprise prévue en 2027.

Cette opération constitue un pilote de la RCD des déchets magnésiens MAVL car elle permet :



- de valider auprès de l'ASND les options de sûreté concernant la gestion du risque d'incendie en fosse ;
- de qualifier des moyens d'extraction en fosse, d'abord lent puis plus rapide, et d'en extrapoler les cadences de reprise pour la RCD des déchets MAVL ;
- d'obtenir de l'ANDRA le 1^{er} agrément d'un colis de déchets magnésiens FMA, le même type d'agrément étant nécessaire à la RCD des fosses où sont mélangés des déchets MAVL et FMA

4.1.2 Etat d'avancement de la R&D sur la mise au point de la matrice de blocage Géopolymère

Le programme d'actions de R&D défini pour aboutir à la détermination d'un colis de conditionnement des déchets métalliques magnésiens par cimentation avec une matrice de blocage s'est poursuivi selon les axes suivants (Cf. *Rapport CEA du au titre du PNGMDR 2013-2015 »Etat d'avancement de la caractérisation des déchets MAVL produits avant 2015 - Programmes d'étude du conditionnement des déchets. 2015*) :

- La formulation d'un liant hydraulique a été définie et fait l'objet d'optimisations ; l'acquisition de valeurs des paramètres physico-chimiques d'intérêt pour la maîtrise du domaine de formulation de la matrice géopolymère (microstructure, porosité) et de l'influence des conditions d'irradiation sur la tenue mécanique de la matrice est en cours ;
- Les déchets magnésiens sont considérés comme réactifs au regard de leurs propriétés physico-chimiques dans le cas d'interactions avec l'eau de constitution du liant hydraulique de blocage et en présence d'autres constituants métalliques constitutifs du déchet ou du colis final, induisant une production d'hydrogène. La recherche d'un liant de blocage est guidée au premier ordre par la minimisation de la génération d'hydrogène à court terme, pendant la prise du liant, puis à long terme, en entreposage et stockage. Les différents processus de corrosion (corrosion généralisée, corrosion galvanique, corrosion sous irradiation,...) conduisent à la production de dihydrogène, qui est en cours de quantification ;
- La démonstration de la fabrication du géopolymère à l'échelle semi-pilote et à l'échelle industrielle est également en cours de réalisation. La robustesse de la formulation de la matrice est évaluée au regard du caractère transposable à l'échelle de fabrication industrielle.
- L'évolution physico-chimique à long terme du géopolymère en interaction avec l'eau de la roche hôte (mesure des coefficients de diffusion de H₂ et des radionucléides (terme source) importants pour la sûreté est également évaluée.

La matrice de blocage de type liant hydraulique retenue à ce stade des études est un matériau minéral aluminosilicaté sodique (sans calcium) dénommé « géopolymère ».

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17K4BG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 16/23
		<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038	
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

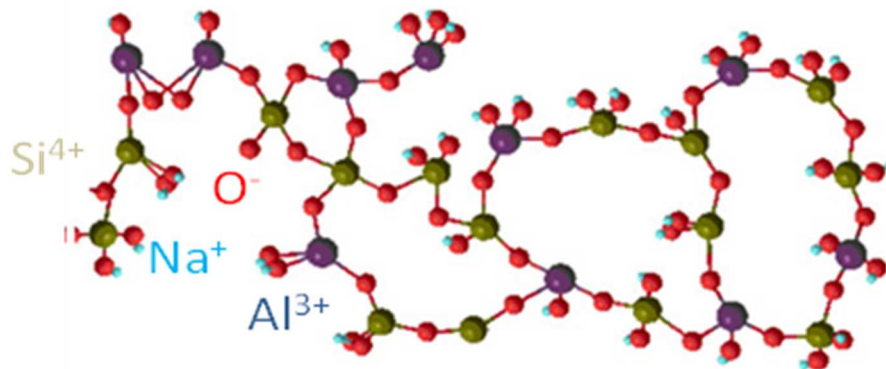


Figure 7. Structure atomique du matériau géopolymère.



Au stade actuel des développements, ce matériau minéral répond aux critères importants pour la mise en œuvre à l'échelle technologique :

- Ouvrabilité et fluidité du coulis, sur une plage de température de mise en forme comprise entre 20 et 30 °C, jusqu'à l'échelle industrielle ;
- Obtention d'un colis massif de déchets magnésiens immobilisés avec absence de fissure de dessiccation,
- Résistance mécanique en compression supérieure à 20 MPa, telle qu'exigée pour un colis à stocker au CSA ;
- Terme source hydrogène faible par rapport à la réaction entre le liant et le magnésium, au cours de la phase initiale de prise du coulis. Typiquement, pour le colis échelle industrielle de catégorie MAVL, le taux de dégazage H₂ est ≤ 2L/colis primaire/an à la date de production du colis primaire ;
- Tenue à l'irradiation, matérialisée par l'absence d'endommagement macroscopique (fissuration), sans modification minéralogique ni microstructurale jusqu'à 10 MGy de dose βγ intégrée; Absence de lixiviation du magnésium par des eaux cimentaires (condition représentative d'un environnement d'entreposage ou lors de la phase d'exploitation de CIGEO), seul le sodium est relâché en solution.
- Maintien des performances mécaniques sous eaux cimentaires (supérieure à 20 MPa et absence de dégradation (fissuration) après carbonatation de la matrice

Les actions de R&D se poursuivent en se focalisant notamment sur les sujets suivants :

- Recherche de l'optimisation de la teneur en NaF introduit dans la formulation de la matrice géopolymère au regard des propriétés des performances de la matrice attendus (TS H₂, résistance mécanique, comportement en milieu saturé/insaturé, ...)
- Déterminer l'ensemble des termes source H₂ à l'échelle 1 du colis de déchets final, en conséquence des différents mécanismes de corrosion intervenant (corrosion généralisée, corrosion galvanique, ...)
- Maitriser les paramètres de conduite de procédé pour la fabrication du géopolymère à l'échelle technologique qui sera mise en œuvre pour l'opération pilote de reprise des déchets de la fosse 0.

Pour conclure, dans l'état actuel des développements, le matériau de blocage géopolymère constitue une solution présentant des propriétés physico-chimiques compatibles avec une mise en œuvre à l'échelle technologique en regard de certains critères majeurs (coulabilité, temps de prise, ...) et répondant aux objectifs de sûreté en stockage

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17K4BG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 17/23
		<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038	
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

(TS H2, résistance mécanique). Par ailleurs, les essais de résistance à l'irradiation le rendent compatible avec le niveau d'activité des déchets magnésiens à immobiliser.

4.2 SCENARIO DE REPRISE ET CONDITIONNEMENT DES MAGNESIENS MAVL

4.2.1 Hypothèses sur le Conditionnement intermédiaire

Plusieurs éléments ont amené le CEA à revoir sa stratégie de conditionnement des déchets MAVL :



- les décalages de mise en service de CIGEO et de réception des colis (au-delà de 2070 pour les déchets magnésiens par exemple) ;
- la non-stabilisation des spécifications d'acceptation de CIGEO.

Néanmoins, le CEA a conservé l'objectif d'amélioration de la sûreté des déchets magnésiens qui, s'il ne passe plus par une évacuation à court ou moyen termes vers CIGEO, peut être atteint en améliorant les conditions d'entreposage des déchets sur le site de Marcoule. Cette amélioration doit comprendre 2 volets :

- améliorer le niveau de sûreté de l'entreposage de ces déchets, par exemple via la mise en service d'un bâtiment neuf (cf. §4.2.2) ;
- améliorer le niveau de sûreté au plus près des déchets en adoptant un conditionnement intermédiaire, préalable à un conditionnement définitif réalisé juste avant l'évacuation vers CIGEO.

Le scénario de RCD des magnésiens MAVL permet d'atteindre cet état de conditionnement intermédiaire. Ainsi il prévoit comme pour la fosse 0 des étapes de reprise en fosse, de tri physique et radiologique. Afin d'accroître les cadences de reprise, les opérations de tri sont réalisées hors fosse dans une unité dédiée. Les déchets relevant d'un stockage au CSA sont orientés vers des étapes de conditionnement analogues à celles de la fosse 0, pour au final produire un colis de type CBFK contenant des déchets magnésiens bloqués par un liant hydraulique de type géopolymère.

Les déchets MAVL relevant d'un stockage à CIGEO suivront une autre voie. En effet afin de réduire leur volume mais également leur surface réactive, il est envisagé de réaliser une étape de broyage puis de réduction de volume (la technologie n'est pas choisie entre briquetage et compactage), afin de produire des cylindres de déchets pressés. Ces cylindres seraient ensuite conditionnés en vrac dans un conteneur fermé en vue de son entreposage, la densité apparente d'u magnésium conditionné sera alors comprise entre 50% et 75% de celle du métal massif, selon s'il s'agit de briquettes ou de blocs compactés.

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17KKBG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 18/23
		<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038	
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

Le magnésium sous forme pressé resterait ainsi dans un état physique réversible. Des tests de broyage de galettes et briquettes ont été réalisés, et démontrent la possibilité de revenir à l'état initial de fragments de magnésium, situation qui est celle actuellement des déchets magnésiens en entreposage. Par ailleurs, si le conditionnement final retenu était un blocage par un liant hydraulique, ce conditionnement intermédiaire par compactage pourra contribuer à limiter les surfaces potentiellement réactives accessibles (réduction d'un facteur de l'ordre de 10).



Figure 8. Exemple de cylindres de fragments de gaines Mg simulant inactives après compactage.



Fin 2017, le CEA achèvera les études d'Avant-Projet Sommaire (APS) des équipements de reprise et de réduction de volume.

4.2.2 L'entreposage futur en alvéole

Les colis de déchets magnésiens MAVL seront repris puis entreposés dans de nouvelles installations d'entreposage, en phase d'étude. Les orientations sur ces futurs entreposages sont décrites dans le rapport remis par le CEA le 30 juin 2017, au titre de l'article 53 de l'arrêté du 23 février 2017 pris pour application du décret n°2017-231 du 23 février 2017 établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs.

5. SCHEMA DE REPRISE DES DECHETS DE PROCEDE

La reprise des déchets de procédé nécessite la mise en œuvre de moyens spécifiques. Aussi, afin de progresser tout en limitant l'exposition du projet à de trop gros risques projet, le CEA a décidé de mettre œuvre un schéma de reprise en 2 étapes.

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17K4BG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 19/23
		<u>Accord</u> : / sans <u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008 <u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038	
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

La première étape constituera une phase pilote visant à qualifier des choix techniques qui serviront de base à la seconde étape de la reprise des déchets de procédé. Cette opération pilote concerne la reprise et le conditionnement de 5 tonnes de boues actuellement présentes dans les fosses G, H et J de l'installation Dégainage G2/G3. Ce choix s'est orienté vers cette fosse car :

- la composition physique des boues est un mélange de déchets de procédé (fines de graphite, diatomées, zéolithe, résines échangeuses d'ions), ce qui permettra de compléter le retour d'expérience concernant :
 - d'une part les dispositifs de pompage à mettre en œuvre en fosse. Le CEA dispose déjà d'expérience sur des déchets analogues notamment au Dégainage dans le cadre de la vidange des fosses 7 et 14, pour lesquelles il a été observé une variabilité importante de l'aptitude au pompage des déchets, ces derniers étant difficilement reproductibles dans des conditions simulant inactives ;
 - la phase amont aux opérations de conditionnement visant à séparer les déchets humides de l'eau ajoutée pour permettre le pompage ;
- ses inventaires radiologique et physique sont faibles ;
 - ce qui permettra de tester et faire évoluer en tant que de besoin les moyens de reprise en vue de leur utilisation lors de la seconde étape
 - de limiter l'exposition du personnel lors de la mise au point du procédé de reprise et conditionnement.

La seconde étape sera la phase « industrielle » durant laquelle les solutions de la phase pilote, qui auront donc été éprouvées, seront réemployées et étendues aux autres fosses contenant des déchets FMAVC, mais aussi partiellement à celles contenant des déchets MAVL.

5.1 PHASE PILOTE FOSSES G, H ET J - INSTALLATION UDH

Les fosses G, H et J sont les fosses historiques de collecte des effluents de l'installation Dégainage G2/G3 avant rejet à Station de Traitement des Effluents Liquides de Marcoule (STEL). Ces trois fosses ont cessé d'être exploitées et contiennent en leur fond un dépôt de déchets de procédé composés de fines de graphite, zéolithe, diatomées et des résines échangeuses d'ions. Ils représentent environ 5 tonnes de boues sèches. Ces déchets sont compatibles d'une mise en stockage au CSA.

Le scénario de reprise des boues des fosses G, H et J comprend l'enchaînement des opérations unitaires suivantes :

- une remise en suspension en phase aqueuse et un pompage en fosse ;
- le transfert des boues vers une cuve intermédiaire d'assemblage, de décantation et d'échantillonnage
- l'enrobage au sein d'un malaxeur des boues décantées dans un liant hydraulique cimentaire ;
- la coulée du mortier produit par le malaxeur dans des fûts de 223 L ;
- la caractérisation radiologique unitaire de chaque fût ;
- l'expédition des fûts de 223 L vers l'atelier de conditionnement des déchets solides de Marcoule où ils s'intègrent au flux classique de conditionnement en colis en béton fibré CBFK du centre qui sont ensuite expédiés au CSA.



CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR
DO 38 21/12/17



difusé le : 21/12/17

NT

Page 20/23

Accord : / sans

Réf. : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008

Chrono : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038

Date : 21/12/2017

Indice : 0

Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG

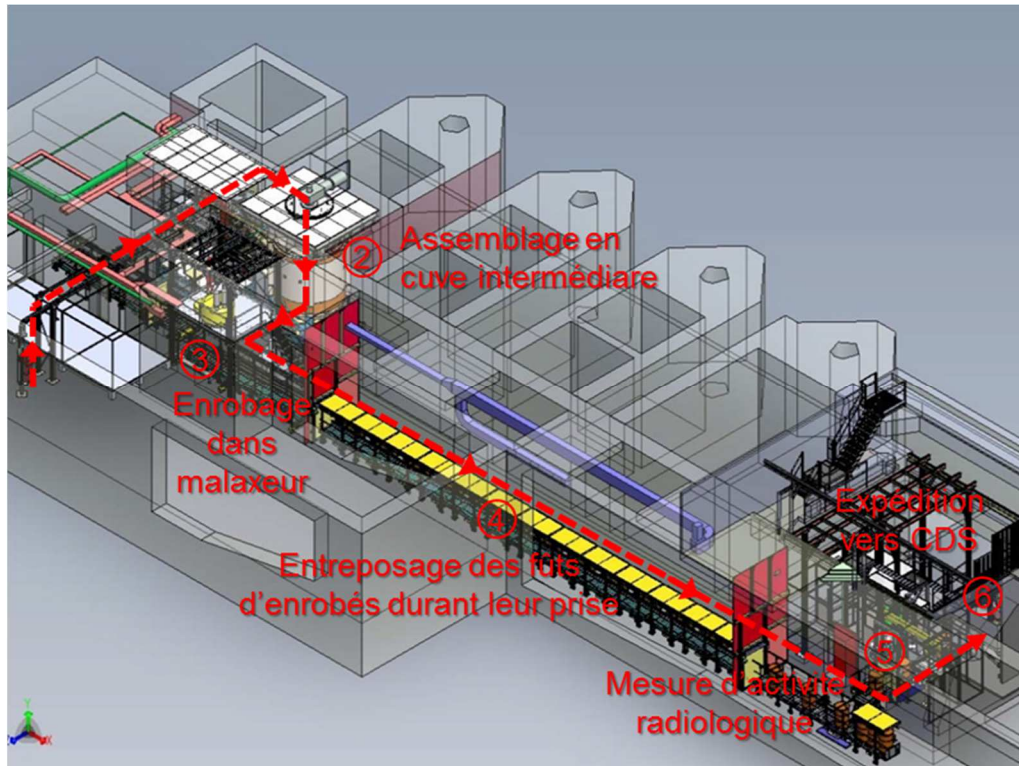


Figure 9. Vue 3D des équipements de RCD des fosses G, H et J, et Unité de traitement de Déchets Homogènes (UDH)

L'ensemble de ces opérations sera réalisé au sein du bâtiment Dégainage G2/G3 dans une installation neuve dénommé Unité de conditionnement des Déchets Homogènes (UDH). Elle est implantée dans des locaux ou fosses libérées suite aux opérations de démantèlement de l'ensemble des procédés historiques de réception de combustible irradiés et de dégainage mécanique sous eau.

Les autorisations de sûreté nécessaire la réalisation de ces opérations ont été délivrées au CEA par l'ASND une première fois en 2008, autorisation rendue caduque suite à plusieurs modifications de conception réalisées par le CEA, et une seconde fois en 2014.

Le CEA a achevé le montage d'UDH en 2015 et débuté le pompage des boues en novembre 2015. La cadence de pompage s'est avéré insatisfaisante, aussi l'opération a été interrompue fin 2016 afin de mettre en place un nouveau dispositif de pompage. Les opérations ont repris en décembre 2017.



	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17KKBG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 21/23
	<u>Accord</u> : / sans		
	<u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008		
	<u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038		
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			



Figure 10. Installation de la cuve intermédiaire de 15 m³ et montage de son agitateur.





Figure 11. Vue interne du malaxeur et son installation (droite).

En parallèle, l'ANDRA a délivré au CEA en 2016 son agrément pour la production des colis de déchets. L'acceptation de colis sera délivrée par l'ANDRA après instruction des résultats d'analyses du premier batch de boues constitué dans la cuve intermédiaire.

5.2 SCENARIO DE REPRISE ET CONDITIONNEMENT DES DECHETS DE PROCEDE MAVL

A l'instar des déchets magnésiens MAVL, et pour des raisons analogues, le CEA prévoit de procéder à un conditionnement intermédiaire des déchets MAVL de procédé.

Le scénario de reprise des déchets de procédé MAVL est analogue à celui de l'opération pilote conduite sur UDH jusqu'à l'opération unitaire de décantation après pompage et transfert. A ce stade les déchets MAVL suivent une

	CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR DO 38 21/12/17  17KKBG000039 diffusé le : 21/12/17	NT	Page 22/23
	<u>Accord</u> : / sans		
	<u>Réf.</u> : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008		
	<u>Chrono</u> : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038		
		<u>Date</u> : 21/12/2017	<u>Indice</u> : 0
Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG			

autre voie. Afin d'obtenir un état permettant de limiter les phénomènes de corrosion et de radiolyse lors de l'entreposage en conditionnement intermédiaire, des déchets MAVL subiraient plusieurs opérations visant à éliminer l'eau libre et l'eau liée. Ces opérations consisteraient en une filtration et un séchage sous vide et basse température. Les déchets ainsi préparés seraient ensuite conditionnés en vrac dans un conteneur fermé en vue d'une phase d'entreposage.

Ainsi aucune opération irréversible ne serait réalisée sur les déchets. Si leur conditionnement final était un enrobage dans un liant hydraulique, à l'instar de déchets FMAVC, ou un autre traitement, il sera encore réalisable au préalable à l'évacuation vers le stockage CIGEO.

Fin 2017, le CEA achève les études d'Avant-Projet Sommaire (APS) des équipements de reprise et de déshydratation des déchets. Le CEA projette d'enclencher la phase d'Avant-Projet Détaillé en visant une fin de phase en 2021. La configuration des bâtiments, les règles de transport sur site, et des hypothèses calendaires de réalisation des moyens de RCD (sans marges), conduisent à considérer un démarrage des équipements de conditionnement avant fin 2030.



CEA/DEN/DDCC/UDHB/DIR
 DO 38 21/12/17

 17KKBG000039
 diffusé le : 21/12/17

NT

Page 23/23

Accord : / sans

Réf. : DDCC/UDHB/DIR/NT//2017-008

Chrono : CEA/DEN/MAR/DDCC/UDHB/DIR /2017-038

Date : 21/12/2017

Indice : 0

Schéma de gestion des déchets de structure magnésiens et des déchets de procédés issus du traitement de combustibles usés UNGG

6. PLANNING DIRECTEUR

Les phases pilote de reprise des déchets sont en cours de réalisation ou en cours d'études.

En parallèle le CEA va lancer les études d'Avant-Projet Détaillé pour la reprise des déchets magnésiens et procédé. Ensuite la priorité sera donnée à la réalisation des équipements de reprise des déchets magnésiens pour un début des opérations de reprise en 2028, puis la réalisation des équipements de reprise des déchets de procédé pour un début des opérations de reprise à partir de 2031

