

SYNTHESE

Ce document présente les spécifications de production et d'entreposage des colis C1PG^{SP} de déchets Moyenne Activité à Vie Longue (MAVL) produits par EDF sur l'Installation de Conditionnement et d'Entreposage des Déchets Activés (ICEDA) et destinés in fine au stockage profond.

Ces déchets sont issus du démantèlement des réacteurs nucléaires de première génération, de Creys-Malville et de l'exploitation, de la maintenance et d'éventuelles modifications des réacteurs nucléaires du parc français actuel : ils correspondent aux familles élémentaires EDF-080 et EDF-090 identifiées dans le Programme Industriel de Gestion des Déchets (PIGD) de CIGEO.

Ce document est rédigé conformément aux exigences de l'arrêté INB [1] relatives au conditionnement des déchets destinés à des installations de stockage de déchets radioactifs à l'étude ainsi qu'aux exigences de la Décision N° 2017-DC-0587 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage.

Il constitue la pièce n°1 du référentiel de conditionnement associé et est subordonné à l'accord de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) en vue d'obtenir une autorisation de produire les colis.

Il présente :

- La description des déchets MAVL conditionnés et entreposés sur ICEDA ;
- Les spécifications d'acceptation des déchets MAVL sur ICEDA ;
- La méthodologie de caractérisation radiologique des déchets MAVL ;
- Les contrôles réalisés permettant de vérifier le respect des spécifications d'acceptation des déchets et des colis sur ICEDA ;
- Les caractéristiques des colis C1PG^{SP} MAVL ;
- Les modalités de fabrication des colis C1PG^{SP} MAVL ;
- Les spécifications d'acceptation et la gestion des colis en phase entreposage ;
- Les paramètres importants du procédé et de l'entreposage garantissant la qualité de cette fabrication et la conformité des colis C1PG^{SP} MAVL ;
- Les éléments de justification de la compatibilité des caractéristiques attendues des colis MAVL avec les modes de transport envisagés.

SOMMAIRE

1	EVOLUTION DU DOCUMENT	8
2	OBJET	8
3	DOCUMENTS DE REFERENCE	9
4	DESCRIPTION DES DECHETS MAVL CONDITIONNES ET ENTREPOSES SUR ICEDA	10
4.1	DECHETS MAVL ISSUS DE L'EXPLOITATION DU PARC REP	11
4.1.1	Description qualitative	11
4.1.2	Compositions chimiques des crayons de grappes de commande et DDG RIC	12
4.1.3	Masses volumiques équivalentes	15
4.1.4	Caractéristiques dimensionnelles des crayons de grappes fixes et mobiles	16
4.1.5	Espèces chimiques toxiques des DAE	16
4.1.6	Inventaire quantitatif de déchets DAE	17
4.1.7	Inventaire radiologique	18
4.1.8	Inventaire quantitatif de colis de déchets DAE	21
4.2	DECHETS MAVL ISSUS DU DEMANTELEMENT DES CENTRALES	22
4.2.1	Description qualitative	22
4.2.2	Caractéristiques dimensionnelles	22
4.2.3	Compositions chimiques des DAD	23
4.2.4	Espèces chimiques toxiques des DAD	27
4.2.5	Inventaire quantitatif de déchets DAD	28
4.2.6	Inventaire radiologique	29
4.2.7	Inventaire quantitatif de colis de déchets DAD	30
5	SPECIFICATIONS D'ACCEPTATION DES DECHETS MAVL ET LEUR CONDITIONNEMENT EN COLIS A ICEDA.....	30
5.1	SPECIFICATIONS RADIOLOGIQUES	30
5.1.1	Formalisme	30
5.1.2	Activité maximale autorisée par déchet élémentaire	31
5.1.3	Activité maximale autorisée par colis	32
5.1.4	Hypothèses structurantes du programme de qualification des colis	33
5.2	SPECIFICATIONS PHYSICO-CHIMIQUES	34
5.2.1	Déchets autorisés sans restriction.....	35
5.2.2	Déchets autorisés avec restriction.....	35
5.2.3	Déchets interdits.....	36

5.3	LIMITE DE PUISSANCE THERMIQUE PAR COLIS.....	36
5.4	LIMITE DE MASSE PAR COLIS.....	37
6	METHODE DE CARACTERISATION RADIOLOGIQUE DES DECHETS MAVL37	
6.1	PRINCIPES GENERAUX.....	37
6.2	ETABLISSEMENT DES RATIOS D'ACTIVATION.....	38
6.2.1	Présentation de la démarche : activation des structures.....	38
6.2.2	Définition d'un ratio	39
6.3	ETABLISSEMENT DES FORFAITS DE CONTAMINATION	40
6.4	INCERTITUDES ASSOCIEES AUX CARACTERISTIQUES RADIOLOGIQUES DES DECHETS RECEPTIONNES DANS ICEDA	40
6.7	EXEMPLE DES BARRES DE COMMANDE DE BUGEY 2	44
7	RESPECT DES SPECIFICATIONS D'ACCEPTATION DES DECHETS ET LEUR CONDITIONNEMENT EN COLIS A ICEDA.....	45
7.1	RESPECT DES SPECIFICATIONS D'ACCEPTATION DES DECHETS A ICEDA.....	45
7.1.1	Déclaration des déchets via l'outil informatique dédié (type DRA).....	45
7.1.2	Acceptation et validation de l'expédition des déchets vers ICEDA	45
7.1.3	Réception des déchets sur ICEDA.....	45
7.1.4	Gestion des non conformités	46
7.2	PRINCIPES DE REPARTITION DES DECHETS EN PANIER	46
7.2.1	Remplissage des DAD en panier.....	46
7.2.2	Remplissage des DAE en panier.....	46
7.3	RESPECT DES SPECIFICATIONS DE CONDITIONNEMENT DES DECHETS EN COLIS A ICEDA	47
7.3.1	Activité maximale par colis	47
7.3.2	Puissance thermique par colis	48
8	DESCRIPTIF, CARACTERISTIQUES DES COLIS PRODUITS ET ELEMENTS RELATIFS A LEUR STABILITE PHYSICO-CHIMIQUE	48
8.1	DESCRIPTIF DU COLIS C1PG ^{SP}	48
8.1.1	Descriptif du conteneur.....	48
8.1.2	Descriptif du panier de déchets	50
8.1.3	Modes d'identification	51
8.1.4	Descriptif du blocage des déchets en panier.....	51
8.1.5	Descriptif du calage du panier de déchets en conteneur	51
8.1.6	Descriptif du bouchon de fermeture du colis	51
8.1.7	Masse du colis.....	52
8.2	CARACTERISTIQUES RADIOLOGIQUES DU COLIS C1PG ^{SP}	52
8.2.1	Débit de dose.....	52
8.2.2	Puissance thermique	54

8.2.3	Contamination surfacique.....	54
8.2.4	Matières fissiles.....	54
8.3	CARACTERISTIQUES MECANQUES DU COLIS C1PG ^{SP}	55
8.3.1	Taux de vide et porosité.....	55
8.3.2	Comportement à la chute.....	56
8.3.3	Résistance au gerbage.....	56
8.4	AUTRES CARACTERISTIQUES.....	56
8.4.1	Confinement.....	56
8.4.2	Tenue au feu.....	57
8.4.3	Comportement thermique du colis.....	57
9	MODALITES DE FABRICATION DES COLIS DE DECHETS	57
9.1	LOGISTIQUE DE REPARTITION DES DECHETS DANS LES COLIS.....	57
9.1.1	Logistique de répartition des déchets arrivant sur ICEDA pré-conditionnés en paniers	57
9.1.2	Logistique de répartition des déchets arrivant sur ICEDA en étuis.....	58
9.2	PREPARATION ET TRI DES DECHETS.....	58
9.2.1	Poste de découpe des déchets.....	59
9.2.2	Reconditionnement de paniers.....	60
9.3	CARACTERISATION RADIOLOGIQUE.....	60
9.4	FABRICATION ET TRANSFERT EN CELLULE DU COULIS DE BLOCAGE.....	60
9.4.1	Fabrication du coulis de blocage.....	60
9.4.2	Transfert du coulis.....	61
9.5	BLOCAGE DES DECHETS.....	62
9.6	EVACUATION DES PANIERS VERS LA CELLULE DE CALAGE/BOUCHAGE : CAISSON DE NETTOYAGE ET DE CONTROLE DU PANIER BLOQUE.....	62
9.6.1	Cinématique.....	62
9.6.2	Gestion des effluents de lavage.....	63
9.7	FABRICATION ET TRANSFERT EN CELLULE DU COULIS DE CALAGE.....	63
9.7.1	Fabrication du coulis de calage par l'unité de préparation des coulis.....	63
9.7.2	Transfert du coulis.....	63
9.8	CALAGE.....	63
9.9	FABRICATION ET TRANSFERT EN CELLULE DU BETON DE BOUCHAGE.....	64
9.9.1	Fabrication du béton de bouchage par l'unité de préparation dédiée.....	64
9.9.2	Transfert du béton.....	64
9.10	BOUCHAGE DES COLIS.....	65
9.11	CONTROLES DU COLIS FINI.....	66
9.12	GESTION DES EAUX RESIDUELLES DE CURE DU CALAGE ET DU BOUCHAGE.....	66
10	GESTION DES COLIS EN PHASE ENTREPOSAGE	66
10.1	DUREE D'ENTREPOSAGE DES COLIS MAVL SUR ICEDA.....	67



**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 7/84

10.2	SPECIFICATIONS D'ACCEPTATION POUR L'ENTREPOSAGE DES COLIS SUR ICEDA 67	
10.2.1	Limites radiologiques	67
10.2.2	Limite de puissance thermique totale en hall d'entreposage	67
10.3	TRACABILITE DES COLIS ET RESPECT DES SPECIFICATIONS D'ENTREPOSAGE	68
10.4	SURVEILLANCE	68
10.5	ANALYSE DU COMPORTEMENT DU COLIS DURANT LA PHASE D'ENTREPOSAGE PREALABLE A LEUR STOCKAGE	69
11	PARAMETRES IMPORTANTS DU PROCEDE DE CONDITIONNEMENT ET DE L'ENTREPOSAGE GARANTISSANT LA QUALITE DE FABRICATION ET LA CONFORMITE DES COLIS C1PG^{SP}	69
11.1	PARAMETRES GARANTIS ET COMPLEMENTAIRES A LA PRODUCTION.....	69
11.1.1	Paramètres relatifs aux approvisionnements.....	69
11.1.2	Paramètres garantis relatifs aux déchets.....	70
11.1.3	Paramètres relatifs au procédé.....	70
11.2	PARAMETRES GARANTIS RELATIFS AU COLIS FINI.....	73
11.3	PARAMETRES GARANTIS ET COMPLEMENTAIRES A L'ENTREPOSAGE	74
11.4	PARAMETRES GARANTIS ET COMPLEMENTAIRES A L'EXPEDITION	74
12	TRANSPORT	75
	ANNEXE 1 – INVENTAIRES RADIOLOGIQUES D'ACTIVATION DES DAE DU PARC REP	76
	ANNEXE 2 – INVENTAIRES RADIOLOGIQUES D'ACTIVATION DES DAD	77



**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 8/84

1 EVOLUTION DU DOCUMENT

Indice	Modifications
A	Création du document
B	Intégration des éléments de réponses aux questions et recommandations de l'IRSN ainsi qu'aux questions et avis technique de l'Andra.
C	Nom de l'unité d'ingénierie modifié, corps du texte inchangé hors modification de forme..

2 OBJET

Ce document présente les spécifications de production et d'entreposage des colis C1PG^{SP}¹ de déchets Moyenne Activité à Vie Longue (MAVL) produits par EDF sur l'Installation de Conditionnement et d'Entreposage des Déchets Activés (ICEDA) et destinés in fine au stockage profond.

Ces déchets sont issus du démantèlement des réacteurs nucléaires de première génération, de Creys-Malville et de l'exploitation, de la maintenance et d'éventuelles modifications des réacteurs nucléaires du parc français actuel : ils correspondent aux familles élémentaires EDF-080 et EDF-090 identifiées dans le Programme Industriel de Gestion des Déchets (PIGD) de CIGEO.

Ce document est rédigé conformément aux exigences de l'arrêté INB [1] relatives au conditionnement des déchets destinés à des installations de stockage de déchets radioactifs à l'étude ainsi qu'aux exigences de la Décision N° 2017-DC-0587 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage.

Il constitue la pièce n°1 du référentiel de conditionnement associé et est subordonné à l'accord de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) en vue d'obtenir une autorisation de produire les colis.

Il présente :

- La description des déchets MAVL conditionnés et entreposés sur ICEDA ;
- Les spécifications d'acceptation des déchets MAVL sur ICEDA ;
- La méthodologie de caractérisation radiologique des déchets MAVL ;
- Les contrôles réalisés permettant de vérifier le respect des spécifications d'acceptation des déchets et des colis sur ICEDA ;
- Les caractéristiques des colis C1PG^{SP} MAVL ;
- Les modalités de fabrication des colis C1PG^{SP} MAVL ;
- Les spécifications d'acceptation et la gestion des colis en phase entreposage ;
- Les paramètres importants du procédé et de l'entreposage garantissant la qualité de cette fabrication et la conformité des colis C1PG^{SP} MAVL ;
- Les éléments de justification de la compatibilité des caractéristiques attendues des colis MAVL avec les modes de transport envisagés.

¹ SP signifie Sans Polystyrène

3 DOCUMENTS DE REFERENCE

[1] Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base

[2] []

[3] []

[4] []

[5] []

[6] []

[7] []

[8] []

[9] []

[10] []

[11] []

[12] []

[13] []

[14] []

[15] []

[16] []

[17] []

[18] []

[19] []

[20] []

[21] []

[22] []

- [23] D305615009088 ind C: Projet ICEDA – Référentiel de conditionnement des déchets MAVL. Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis C1PG^{SP}
- [24] D305615010794 ind C: Projet ICEDA – Référentiel de conditionnement des déchets MAVL. Pièce n°2 : programme de qualification des colis C1PG^{SP}
- [25] D305615010796 ind C – Projet ICEDA – Référentiel de conditionnement des déchets MAVL – Pièce n°3 : plan de contrôles du procédé et des colis C1PG^{SP}
- [26] Dossier de demande d'Autorisation de Mise en Service d'ICEDA. Pièce n°1 – Rapport de Sûreté – Chapitre 4 : Description de l'installation
- [27] []
- [28] []
- [29] []
- [30] []
- [31] []
- [32] []
- [33] []
- [34] []
- [35] []

4 DESCRIPTION DES DECHETS MAVL CONDITIONNES ET ENTREPOSES SUR ICEDA

L'installation ICEDA a pour but de conditionner et d'entreposer les déchets radioactifs produits dans le cadre :

- Du programme EDF de démantèlement des centrales nucléaires de première génération et de Creys-Malville (autrement dénommés Déchets Activés de Démantèlement (DAD)) ;
- De l'exploitation, de la maintenance et d'éventuelles modifications des centrales nucléaires à eau pressurisée (autrement dénommés Déchets Activés d'Exploitation (DAE)).

La connaissance à date de ces déchets fait l'objet d'un dossier de connaissances cohérent avec le PIGD VE. Ce dossier fait l'objet de la référence [27] qui pourra faire l'objet de mises à jour au fur et à mesure de l'avancée des connaissances sur ces déchets. En synthèse, les paragraphes suivants fournissent néanmoins une description physique illustrative de ces déchets dont les activités radiologiques sont par ailleurs fournies en annexes en l'état actuel de nos connaissances.



4.1 DECHETS MAVL ISSUS DE L'EXPLOITATION DU PARC REP

4.1.1 Description qualitative

Les déchets activés MAVL destinés à être conditionnés et entreposés sur ICEDA sont notamment issus du remplacement périodique des grappes et des Doigts De Gant RIC (DDG RIC) des réacteurs REP (paliers CP0, CPY, P4, P'4 et N4). Les divers éléments sont entreposés sélectivement dans des étuis de regroupement de façon à optimiser le volume entreposé dans les piscines de désactivation des Bâtiments du Combustible (BK).

Ces matériels, du fait de leur exposition sous le flux neutronique du cœur, subissent une activation qui conduit à la création de radioéléments dont les plus représentatifs à leur date de réception sur ICEDA, après une période de décroissance en piscine, sont le ^{60}Co , le ^{63}Ni , l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$, le $^{113\text{m}}\text{Cd}$, le ^{55}Fe , et le ^{59}Ni . Une liste plus exhaustive des radionucléides dont la somme contribue à hauteur de 99,9% de l'activité radiologique des déchets intègre alors les radioéléments ^3H , ^{14}C , ^{39}Ar , ^{109}Cd , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et ^{94}Nb qui sont également représentatifs des déchets à conditionner. L'ensemble de ces radionucléides sont d'ailleurs retenus pour l'établissement du domaine de fonctionnement de l'installation ICEDA (cf. § 5.1.2 et 5.1.3).

Trois principaux types de déchets d'exploitation sont actuellement concernés par un conditionnement au sein d'ICEDA : les grappes fixes, les grappes de commande mobiles et les doigts de gants RIC.

4.1.1.1 Grappes de commande fixes et mobiles

Les **grappes fixes** sont constituées de Crayons Bouchons (CB) et / ou de Crayons Poisons (CP) et d'une "tête" faisant office de dispositif de maintien (appelée TP).

Les caractéristiques des grappes fixes sont les suivantes :

- les têtes ont une masse entre 2,5 et 3 kg selon le type de réacteur ;
- les crayons poisons ont une longueur d'environ 4 m et une masse moyenne de presque 1 kg ;
- les crayons bouchons ont une longueur de 15 ou 22 cm selon le type de réacteur et une masse moyenne d'environ 100 grammes.

Parmi les **grappes mobiles** sont distinguées :

- les grappes de régulation, constituées de grappes "noires" et de grappes "grises" ;
- les grappes d'arrêt, uniquement constituées de grappes "noires".

Les grappes « noires » et « grises » sont constituées d'une araignée de maintien (appelée TC) et de 24 crayons. Les grappes « noires » sont constituées de 24 Crayons Absorbants (CA) contenant différents types de neutrophages, en fonction des types de réacteurs : absorbants AIC (Argent, Indium, Cadmiun) sur les réacteurs 900 MW ou AIC+B₄C (Carbure de Bore) sur les réacteurs 1300 et 1450 MW. Les grappes « grises » sont constituées de CA en AIC et de Crayons Inox (CI).

Le contenu d'un étui est fixé de manière conservatoire à 280 crayons de l'ordre de 4 m de long. La masse des crayons varie de l'ordre de 1,5 à 3 kg selon le type de crayon et le type de réacteur. Les grappes de crayons bouchons sont par ailleurs disposées telles que (ie. tête et crayons non dissociés) dans les étuis.

4.1.1.2 Doigts de Gant RIC

Les Doigts De Gant RIC (DDG RIC) sont les tubes supports de l'instrumentation du cœur. En fonction de leur usure, ces tubes sont sortis de la cuve du réacteur puis tronçonnés en morceaux de longueurs variant de 0,2 à 3,5 m.

Le contenu d'un étui est fixé de manière conservatoire à 100 tronçons de 3,5 m.

Les doigts de gant RIC sont en acier inoxydable AISI 316 et ont une masse linéique de 231 g/m pour tous les paliers (900 MW, 1300 MW, 1450 MW).

La composition chimique élémentaire de l'AISI 316 est donnée au paragraphe 4.1.2 suivant.

Les doigts de gants RIC ne sont pas recouverts de téflon.

4.1.2 Compositions chimiques des crayons de grappes de commande et DDG RIC

Toutes les grappes sont principalement constituées d'un tube en acier inoxydable à l'intérieur duquel est inséré un matériau neutrophage ou inerte :

- pour les crayons absorbants, de l'AIC seul ou de l'AIC et du B₄C au sein de grappes grises ou noires en fonction du type de tranches REP concernées ;
- pour les crayons poisons, du Pyrex ;
- pour les crayons inertes ou bouchons, des cales creuses ou pleines en acier inoxydable.

Les têtes de grappes sont constituées d'acier inoxydable.

Les compositions chimiques des DAE des grappes fixes sont les suivantes :

Matériel	Désignation	Matériaux	Masse (g) et proportion massique						
			Palier 900 MW		Palier 1300 MW		Palier 1450 MW		
Grappes fixes	Systèmes de maintien (TP)	Ressort	Inconel 718	[]	[]	[]	[]	[]	[]
		Barre d'appui	AISI 304	[]	[]	[]	[]	[]	[]
		Guide		[]	[]	[]	[]	[]	
		Plaque + écrou		[]	[]	[]	[]	[]	
	TOTAL			[]	[]	[]	[]	[]	
	Crayon poison (CP)	Bouchon sup.	AISI 308	[]	[]	[]	[]	[]	[]
		Bouchon inf.		[]	[]	[]	[]	[]	
		Tube Pyrex	Pyrex	[]	[]	[]	[]	[]	
		Tube entretoise	AISI 304	[]	[]	[]	[]	[]	
		Tube de gainage		[]	[]	[]	[]	[]	
	TOTAL			[]	[]	[]	[]	[]	
	Crayon bouchon (CB)	Crayon bouchon	AISI 304	[]	[]	[]	[]	[]	[]
		TOTAL			[]	[]	[]	[]	[]

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 13/84

Les compositions chimiques des DAE des grappes mobiles et des doigts de gant RIC sont les suivantes :

Matériel	Désignation	Matériaux	Masse (g) et proportion massique (masse linéaire en g/m pour DDG RIC)						
			Palier 900 MW		Palier 1300 MW		Palier 1450 MW		
Grappes mobiles	Crayon absorbant en AIC/B4C (CA)	Bouchon sup.	AISI 308	-	-	[]	[]	[]	[]
		Bouchon inf.							
		Ressort	Inconel 718	-	-	[]	[]	[]	[]
		Tube de gainage	AISI 316L	-	-	[]	[]	[]	[]
		Absorbant	B4C	-	-	[]	[]	[]	[]
			AIC	-	-	[]	[]	[]	[]
	TOTAL			-	-	[]	[]	[]	[]
	Crayon absorbant en AIC (CA)	Bouchon sup.	AISI 304 (900 MW) AISI 308 (1300/1450 MW)	[]	[]	[]	[]	[]	[]
		Bouchon inf.							
		Ressort	AISI 302	[]	[]	[]	[]	[]	[]
		Tube de gainage	AISI 316L	[]	[]	[]	[]	[]	[]
		Absorbant	AIC	[]	[]	[]	[]	[]	[]
		TOTAL			[]	[]	[]	[]	[]
	Crayon inox 900 (CI)	Ressort	Inconel 718	[]	[]%	-	-	-	-
		Barre d'appui	AISI 304			-	-	-	-
		Guide		[]	[]	-	-	-	-
		Cales pleines				-	-	-	-
		Bouchon inf.				-	-	-	-
		TOTAL			[]	[]	-	-	-
	Crayon inox 1300 et 1450 (CI)	Bouchon sup.	AISI 308	-	-	[]	[]	[]	[]
Bouchon inf.									
Ressort		AISI 302	-	-	[]	[]	[]	[]	
Tube de gainage		AISI 316L	-	-	[]	[]	[]	[]	
Cales pleines		AISI 304	-	-	[]	[]	[]	[]	
TOTAL			-	-	[]	[]	[]	[]	
Tête de grappe (TC)	Ressort	Inconel 718	[]	[]	[]	[]	[]	[]	
	Bague de tenue	AISI 630	[]	[]	[]	[]	[]	[]	
	Pommeau	AISI 304							
	Ailette		[]	[]	[]	[]	[]	[]	
	Doigt								
	TOTAL			[]	[]	[]	[]	[]	[]
Doigts de gants RIC (DDG RIC)	DDG RIC	AISI 316	[]	[]	[]	[]	[]	[]	
	TOTAL			[]	[]	[]	[]	[]	[]

La composition chimique du pyrex est la suivante :

Elément chimique	Pyrex
SiO ₂	[]
B ₂ O ₃	[]
AL ₂ O ₃	[]
Na ₂ O	[]
CaO	[]
MgO	[]

La composition chimique de l'acier 316L est la suivante :

Elément chimique	316L
Cr	[]
Fe	[]
Mn	[]
Mo	[]
Ni	[]

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 14/84

La composition chimique de l'acier AISI 316 est la suivante :

Elément chimique	AISI 316
Cr	[]
Fe	[]
Mn	[]
Mo	[]
Ni	[]

La composition chimique de l'inconel 718 est la suivante :

Elément chimique	Inconel 718
Cr	[]
Fe	[]
Mo	[]
Nb	[]
Ni	[]

La composition chimique de l'acier AISI 630 est la suivante :

Elément chimique	AISI 630
Cr	[]
Cu	[]
Fe	[]
Ni	[]

La composition chimique de l'acier 304L est la suivante :

Elément chimique	304L
Cr	[]
Fe	[]
Mn	[]
Ni	[]

La composition chimique de l'acier AISI 308 est la suivante :

Elément chimique	AISI 308
Cr	[]
Fe	[]
Mn	[]
Ni	[]

La composition chimique de l'acier AISI 302 est la suivante :

Elément chimique	AISI 302
Cr	[]
Fe	[]
Ni	[]

La composition chimique de l'AIC est la suivante :

Elément chimique	AIC
Ag	[]
Cd	[]
In	[]

La composition chimique du B4C est la suivante :

Élément chimique	B4C
B	[]
C	[]

Les éléments suivants contiennent un alliage de nickel (Inconel 718) :

- Ressort de tête de grappe fixe ;
- Ressort de tête de grappe mobile ;
- Ressort des crayons absorbants AIC/B4C des paliers 1300 et 1450 MW ;
- Ressort des crayons inox des paliers 900 MW.

4.1.3 Masses volumiques équivalentes

Les masses volumiques équivalentes des déchets activés d'exploitation sont les suivantes :

Grappes mobiles noires

- Crayons absorbants AIC 900 MW : 9300 kg/m³
- Crayons absorbants AIC/B4C 1300 MW : 5274 kg/m³
- Crayons absorbants AIC/B4C 1450 MW : 5792 kg/m³

Grappes mobiles Grises

- Crayons absorbants AIC 900 MW : 9300 kg/m³
- Crayons absorbants AIC 1300/1450 MW : 8962 kg/m³
- Crayons inox 900 MW : 8269 kg/m³
- Crayons inox 1300/1450 MW : 5219 kg/m³

Grappes fixes

- Crayons poison 900 MW : 2974 kg/m³
- Crayons poison 1300/1450 MW : 2980 kg/m³
- Crayons bouchon 900 W : 6170 kg/m³
- Crayons bouchon 1300/1450 W : 5004 kg/m³

Doigts de gants RIC

- DDG RIC 900 MW : 4100 kg/m³
- DDG RIC 1300/1450 MW : 5017 kg/m³

4.1.4 Caractéristiques dimensionnelles des crayons de grappes fixes et mobiles

<u>Grappes Poisons</u>		Longueur		Diamètre		Epaisseur	
		900 MW	1300 MW	900 MW	1300 MW	900 MW	1300 MW
Tête		[]					
Crayon POISON	Bouchon supérieur						
	Tube de gainage						
	Tube Pyrex						
	Bouchon inférieur						
	<i>Total</i>						
Crayon BOUCHON (court)	Barreaux inox						
	Bouchon						
	<i>Total</i>						

<u>Grappes de Commande</u>		Longueur		Diamètre		Epaisseur	
		900 MW	1300 MW	900 MW	1300 MW	900 MW	1300 MW
Araignée		[]					
Crayon ABSORBANT AIC	Tube de gainage						
	Bouchon inférieur						
	Bouchon supérieur						
	Absorbant AIC						
	<i>Total</i>						
Crayon ABSORBANT AIC	Tube de gainage						
	Bouchon inférieur						
	Bouchon supérieur						
	Absorbant AIC						
	Absorbant B4C						
<i>Total</i>							
Crayon INOX (long)	Tube de gainage						
	Bouchon inférieur						
	Bouchon supérieur						
	Cale Inox						
	<i>Total</i>						

(1) 1444 mm pour le crayon 1450 MW

(2) 2695 mm pour le crayon 1450 MW

(3) Cale pleine sur le 900 MW, creuse sur le 1300/1450 MW

Extrait du dossier de connaissances [27], données exprimées en mm.

4.1.5 Espèces chimiques toxiques des DAE

La présence de certaines espèces chimiques doit donner lieu à déclaration auprès de l'ANDRA. Considérant le référentiel du CSA en la matière (cf. [28]), les espèces concernées associées à leurs seuils d'identification sont les suivantes :

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 17/84

Espèce chimique toxique	Seuil d'identification dans les déchets (ppm massique)
Plomb	100
Bore	20
Nickel	20
Chrome total	100
Chrome VI	10 (*)
Arsenic	10
Antimoine	10
Sélénium	10
Cadmium	10
Mercuré	10
Beryllium	10
Cyanures	10

Les déchets destinés à ICEDA classés en familles (DAE, DAD) font l'objet d'une évaluation relative à ces substances chimiques (cf. [29]) dont la teneur est indiquée dans le tableau suivant avec en grisé les valeurs supérieures au seuil d'identification :

- Déchets inox, provenant des étuis de transports de DAE,
- AIC gainé, provenant des DAE des REP,
- B4C gainé, provenant des DAE des REP,
- Pyrex gainé, provenant des DAE des REP.

Toxiques chimiques	Déchets Inox (ppm)	AIC gainé (ppm)	B4C gainé (ppm)	Pyrex gainé (ppm)
Pb	1.08E-02	7.60E-01	2.30E-02	2.98E-01
B	7.89E-03	3.27E-02	1.66E+05	0.00E+00
Ni	2.30E+01	1.21E+00	1.60E+04	3.83E-01
Cr	7.89E-03	2.04E-02	5.35E+03	1.55E+00
Cr ^{VI}	5.26E-04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
As	1.05E-03	1.06E-01	2.83E-01	1.34E+00
Sb	1.84E-03	5.88E-01	1.48E-01	1.68E-01
Se	0.00E+00	4.09E-02	2.17E-01	1.94E-01
Cd	1.05E-03	4.13E+04	2.17E-01	1.94E+00
Hg	2.63E-03	4.09E-02	2.16E-01	3.87E-02
Be	1.05E-03	0.00E+00	2.16E-02	1.94E-02
CN ⁻	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

4.1.6 Inventaire quantitatif de déchets DAE

A fin 2015, environ 2 200 étuis sont entreposés dans les piscines de désactivation des BK. A la fin de l'exploitation du parc REP actuel, environ 4 000 étuis auront été produits si l'on considère une Durée De Fonctionnement (DDF) de 40 ans pour chaque tranche REP (5 000 étuis si on considère une DDF de 50 ans).

Selon la durée de fonctionnement des réacteurs, les déchets activés de type MAVL représentent, à terme, une masse totale comprise entre 1000 tonnes et 1200 tonnes :

Matériel	Masses pour une durée de fonctionnement de 40 ans	Masses pour une durée de fonctionnement de 50 ans	
		Sans tri A/B	Estimation avec tri FMAvc/MAVL des CA (*)
Têtes de grappes fixes (TP)	64 tonnes	[]	[]
Crayons poisons (CP)	42 tonnes	[]	[]
Crayons absorbants (CA)	709 tonnes	[]	[]
Crayons bouchons (CB)	53 tonnes	[]	[]
Crayons inox (CI)	82 tonnes	[]	[]
Doigts de gant RIC (DDG RIC)	60 tonnes	[]	[]
TOTAL	1 010 tonnes	1 193 tonnes	1000 tonnes

Les têtes de grappes mobiles (TC) ne sont pas considérées dans cet inventaire car leur niveau d'irradiation est compatible avec un classement FMA-vc permettant une évacuation directe au Centre de Stockage de l'Aube (CSA). Les têtes de grappes fixes (ie. têtes de grappes poison) sont considérées comme des déchets MAVL.

(*) Ce tonnage estimatif à 1000 tonnes de DAE pour une DDF de 50 ans tient compte en dernière colonne d'une optimisation en cours d'étude visant à évacuer la partie la moins active des crayons absorbants des grappes mobiles au CSA : les calculs d'activation réalisés couplés aux mesures radiologiques sur quelques étuis de crayons de grappes mobiles de la tranche 2 du CNPE du Bugey démontrent qu'un linéaire de chaque crayon relève d'une classification FMA-vc. En conséquence, une étude de faisabilité technique (de procédé de découpe et de tri en télé-opéré des déchets) relative au tri de la part FMA-vc et de la part MAVL des crayons est en cours dans l'objectif d'une adaptation du procédé de traitement des déchets sur ICEDA mettant en œuvre ce tri.

Nota : Les étuis dans lesquels sont placés les déchets activés, qui constituent eux-mêmes in fine des déchets, sont classés Faible et Moyenne Activité à Vie courte (FMA-vc) et seront évacués vers le Centre de Stockage de l'Aube (CSA). Ils représentent une masse d'environ 500 tonnes (pour une DDF de 40 ans).

4.1.7 Inventaire radiologique

Les DAE contribuent majoritairement au dimensionnement global de l'installation ICEDA. Leurs inventaires chimiques et radiologiques sont établis selon les modalités et les hypothèses suivantes, qui garantissent leur caractère enveloppe² :

- Composition chimique des grappes : d'un point de vue chimique, les teneurs en impuretés considérées correspondent aux valeurs moyennes mesurées (procès-verbaux de coulée) pour un ensemble représentatif des approvisionnements de grappes,
- Flux neutronique : définition d'un flux maximal réaliste qui correspond à une gestion combustible GARANCE. Bien qu'appliquée au palier des tranches 900 MWe, EDF considère cette gestion pour garantir le caractère

² Les hypothèses retenues pour élaborer un inventaire radiologique enveloppe sont regardées en globalité afin de définir un inventaire raisonnablement majorant. Ainsi, plutôt que de majorer toutes les hypothèses de modélisation et d'avoir un inventaire radiologique très majorant (quelques décades), les calculs sont menés dans des conditions moyennes pour quasiment tous les paramètres sauf pour quelques-uns qui sont majorés. Par exemple, les compositions chimiques sont effectivement des compositions moyennes et le caractère majorant est plutôt porté par l'historique d'irradiation (et notamment les gestions du combustible).



**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 19/84

enveloppe des DAE produits sur les trois paliers 900, 1300 et 1450 MWe et ce sur la base des éléments développés ci-après.

Les gestions du combustible ont évolué au fil des années pour pouvoir garantir la tenue mécanique des cuves en phase post accidentelle, notamment lors de la mise en service du RIS (Injection de Sécurité) en fin de vie des installations.

Initialement dans les gestions dites « standard », les assemblages neufs étaient positionnés en périphérie du réacteur pour limiter les points chauds dans la zone centrale. Ces gestions assuraient une nappe de puissance relativement plane. L'inconvénient de cette typologie est une fuite des neutrons vers la cuve et donc une augmentation de sa fragilisation avec l'irradiation en fin de vie.

Dans les années 90, les gestions dites « standard » ont été progressivement remplacées par des gestions dites « faible fluence », c'est-à-dire proposant une limitation du nombre d'assemblages neufs en périphérie du réacteur. Ces gestions permettent de limiter les fuites de neutrons vers la cuve, donc d'allonger la durée de vie des installations.

La conséquence est relative à une nappe de puissance plus « piquée » que dans les gestions dites « standard » : les assemblages placés en zone centrale dégagent plus de puissance que les autres et les sources de neutrons de ces assemblages sont plus importantes que celles des autres. A même puissance de réacteur, en gestion faible fluence, l'activation des DAE est amplifiée.

Entre les réacteurs 900 et 1300/1450 MWe, le nombre d'assemblages périphériques de combustibles usés n'est pas le même. Pour les réacteurs en gestion GARANCE des REP 900 MWe de faible fluence, on a 12 assemblages usés en périphérie contre 8 en gestion GEMMES des REP 1300/1450 MWe de faible fluence. Ce nombre plus important conduit à une nappe plus piquée et par la même à un caractère enveloppe des DAE des tranches 900 MWe sous gestion GARANCE.

De fait, même en l'absence d'inventaires radiologiques consolidés à l'exception des inventaires disponibles quelques étuis caractérisés d'une des tranches du CNPE du Bugey, le caractère enveloppe de l'inventaire radiologique estimé des tranches 900 MWe, en particulier des crayons absorbants des grappes noires de ces tranches, garantit le fait que l'activité maximale par colis n'est pas sous-évaluée, ce qui ne remet pas en question les hypothèses retenues dans le programme de qualification des colis.

Le tableau suivant présente, à titre indicatif, un inventaire radiologique enveloppe estimé par le biais de calculs d'activation, considérant une décroissance préalable de 15 ans en piscine BK, pour un "déchet élémentaire" correspondant à un étui, quel que soit le type de déchets d'exploitation (CA, CI, CP, CB, TP, TC, DDG RIC).

Type de déchets	Type du déchet élémentaire constitué	Inventaire radiologique enveloppe (Bq) identifié après 15 ans de décroissance				
		³ H	¹⁴ C	α	β et γ "forts"	β et γ "faibles"
Déchets Activés d'Exploitation du parc REP	Etui	8E+13	3E+11	9E+08	2E+14	8E+14

Inventaire radiologique enveloppe estimé pour un étui de DAE à réception sur ICEDA

Cet inventaire, compatible avec les spécifications d'acceptation d'un déchet élémentaire sur l'installation ICEDA (cf. § 5.1.2), est donné à titre informatif. En effet, l'objectif d'optimisation (ie. maximisation) du remplissage des

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 20/84

colis de déchets MAVL dans ICEDA visera la mise en place d'une logistique de choix des étuis en amont d'ICEDA en lien avec la typologie de déchets contenus et leur décroissance préalable en piscine BK.

Une campagne de mesures radiologiques a été conduite en 2014 sur des étuis de crayons de la tranche 900 MWe n°2 du CNPE du Bugey. Ces mesures ont été réalisées à l'aide de la sonde SMOPY de CANBERRA à l'aide d'une tête contenant une voie de mesure neutron³ et une voie de mesure gamma⁴. Les mesures ont été réalisées sous eau, dans la piscine BK2 du site. Deux positions de mesures ont été réalisées respectivement à une distance de 39 cm et 7 cm bord à bord entre la sonde et l'étui. Plusieurs mesures ont été réalisées à ces distances, sur plusieurs faces des étuis, à différentes altitudes. Les résultats des mesures sont les suivants :

Activités en Bq au 01/01/2017							
RN	Etui n°1	Etui n°2	Etui n°3	Etui n°4	Etui n°5	Etui n°6	Etui n°7
Co60	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
H3	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
C14	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Mn54	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Fe55	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Ni59	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Ni63	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Nb93m	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Mo93	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Ag108m	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Cd109	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Ag110m	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Cd113m	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
TOTAL	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]

Activités radiologiques de 7 étuis mesurés sur la tranche de Bugey 2

Ces résultats donnés à titre illustratif sont variables d'un étui à l'autre puisqu'il ne s'agit pas de déchets ayant été produits au même moment.

L'état des connaissances à ce jour des inventaires radiologiques concernant les DAE (ie. famille EDF-080 du PIGD VE) est disponible dans le dossier de connaissances de référence [27]. Les inventaires radiologiques

³ La voie de mesure neutron utilise comme détecteur une chambre à fission étanche de type CFUL01. Cette chambre contient 1,15 gramme d'uranium total dont 1,06 gramme d'²³⁵U (92,1% enrichissement).

⁴ La voie de mesure gamma utilise un détecteur miniature de type CdZnTe qui fonctionne à température ambiante. La référence du détecteur utilisée est SDP/310/Z/60S (cristal CZT de 60 mm³).

d'activation annexés à la présente note (cf. annexe 1) et les inventaires radiologiques de contamination y sont distingués.

L'inventaire radiologique global de la totalité des DAE et la distribution de l'activité au sein des différents étuis ne sera disponible qu'après constitution de l'ensemble des étuis (certains déchets ne sont encore pas produits à ce jour) ainsi qu'après mesures radiologiques de l'ensemble desdits étuis sur CNPE. A ce stade, EDF ne peut transmettre que des estimations sur la base de calculs d'activation et de forfait de contamination tels que fournis dans [27] ou rappelées en annexe 1 (inventaire d'activation uniquement). Au fur et à mesure de la consolidation des inventaires radiologiques des différents DAE, EDF fournira les dossiers de spectres et de ratios de déclaration des dits déchets.

4.1.8 Inventaire quantitatif de colis de déchets DAE

En l'état actuel des connaissances, le nombre de colis MAVL de DAE est estimé à environ :

- 850 colis pour une durée de fonctionnement de 40 ans (ie. sans optimisation par le tri FMA-vc / MAVL des crayons de grappes mobiles),
- 1000 colis pour une durée de fonctionnement de 50 ans (ie. sans optimisation par le tri FMA-vc / MAVL des crayons de grappes mobiles),
- 750 colis pour une durée de fonctionnement de 50 ans considérant une optimisation par le tri FMA-vc / MAVL des crayons de grappes mobiles.

Les hypothèses retenues pour aboutir à ces estimations sont les suivantes :

- Hypothèses de remplacement :
 - les grappes de commande sont remplacées tous les 10 ans (4 jeux par tranche pour 40 ans et 5 jeux par tranche pour 50 ans)
 - les grappes poisons sont évacuées au bout d'un cycle (1 jeu par tranche quelle que soit la durée de fonctionnement);
 - les grappes bouchons sont remplacées tous les 13 ans environ (3 jeux par tranche pour 40 ans et 4 jeux pour 50 ans);
 - les DDG RIC sont remplacés tous les 8 ans.
- Hypothèses de colisage :
 - pour les barres de commandes (Crayons Absorbants, Crayons Inox et Crayons Poisons) : on considère 250 crayons par étui et 3 contenus d'étui par colis;
 - pour les crayons bouchons : pour les crayons dissociés de leur tête, on considère 4000 crayons par étui et 3 contenus étuis par colis
 - pour les Têtes de grappes fixes : on considère 25 têtes par étui et 10 contenus étuis par colis
 - pour les DDG RIC : on considère 100 tronçons de 3,5 m par étui et 6 contenus étuis par colis

Nota : le contenant « étui » ne constitue pas un déchet MAVL.

4.2 DECHETS MAVL ISSUS DU DEMANTELEMENT DES CENTRALES

4.2.1 Description qualitative

Les centrales nucléaires à déconstruire appartenant aux filières EL (Eau Lourde – centrale de Brennilis), UNGG (Uranium Naturel Graphite Gaz – Bugey 1, St Laurent A1 et A2, Chinon A1, A2 et A3), REP300 (Réacteur à Eau Pressurisée 300 MW – Chooz A) et RNR (Réacteur à Neutrons Rapides – Creys-Malville) généreront des déchets activés. Une part de ces déchets pourra être stockée en surface après une période de décroissance (Déchets FMA-vc à envoi différé au CSA). L'autre part relève de la catégorie des déchets MAVL.

De manière générale, ces déchets sont essentiellement des structures métalliques activées, classées en 2 types :

- les déchets dits "amovibles" ou "longs", c'est à dire pouvant être extraits lors du fonctionnement du réacteur et / ou devant être découpés avant conditionnement et expédition à ICEDA :
 - barres de commande (UNGG, RNR, REP, EL) ;
 - assemblages réflecteurs en acier (RNR) ;
 - tubes de force, tubes de guidage, etc. (EL).
- les déchets dits "fixes", c'est à dire faisant l'objet d'une découpe sur le chantier de démantèlement en tant que constituant de la structure du réacteur :
 - viroles de cuves, fourreaux et plaques de fond de cuves (EL) ;
 - baffle, enveloppe de cœur, etc. (REP 300).

4.2.2 Caractéristiques dimensionnelles

Les caractéristiques dimensionnelles des DAD sont les suivantes :

- Chooz A :
 - Barre de réglage : Longueur : 2,35 m – Largeur : 0,22 m – Épaisseur : 8,2 mm ;
 - Prolongateur : Longueur : 2,95 m – Distance entre bouts d'ailes : 0,19 m ;
 - Éléments inox du postiche : Longueur : 3,20 m – Largeur : 0,19 m – Épaisseur : 15 mm ;
 - Plaque inférieure de cœur : Diamètre : 2,80 m – Épaisseur : 38 mm ;
 - Barrel (enveloppe de cœur) : Diamètre : 2,72 m - Longueur : 2,93 m - Épaisseur : 28,5 mm.
- Creys-Malville :
 - Assemblages SAC : Hauteur hors tout : 5,4 m - Diamètre moyen extérieur : 179 mm ;
 - Assemblages SCP : Hauteur hors tout : 5,4 m - Diamètre moyen extérieur : 198 mm ;
 - Assemblages RAC : Hauteur assemblage (hors tout) : 5,4 m - Hauteur corps de l'assemblage : 3,7 m - Diamètre externe corps : 171 mm - Diamètre interne corps : 100 mm ;
 - Chandelles : Hauteur : 1,3 m - Diamètre externe : compris entre 152 mm et 130 mm - Diamètre interne : 110 mm.

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 23/84

- Brennilis :
 - Virole : Diamètre : 4,80 m - Longueur : 4,60 m - Épaisseur : 20,0 mm ;
 - Fond de cuve interne : Diamètre : 4,74 m - Épaisseur : 35,0 mm ;
 - Pièce de transition 1 : Diamètre : 0,06 m - Longueur : 0,07 m - Épaisseur : 5,50 mm ;
 - Pièce de transition 2 : Diamètre : 0,06 m - Longueur : 0,23 m - Épaisseur : 5,50 mm.
- Bugey :
 - Tête de barre de commande : diamètre : 90 mm – longueur : 924 mm ;
 - Centre de la barre de commande découpé en 6 tronçons : diamètre : 63 mm – longueur : 860 mm ;
 - Pied de barre de commande : diamètre : 90 mm – longueur : 865 mm.
 - FAP : longueur : 205 mm – Largeur : 205 mm – Hauteur : 140 mm.

Nous ne disposons pas à ce stade de données consolidées sur les déchets de Saint-Laurent A et Chinon A.

4.2.3 Compositions chimiques des DAD

Les constituants des déchets activés de démantèlement sont principalement :

- des aciers inoxydables pour les éléments de transition, de guidage, les structures des barres de contrôles, les viroles, etc.
- des absorbants de type B4C (carbure de bore) ;
- des aciers noirs pour des écrans latéraux.

Les tableaux suivants indiquent plus précisément, site par site, les matériaux constitutifs des DAD :

Site	Désignation	Sous-catégorie	Proportion massique	Matériau
Creys-Malville	SAC	Tête équipage mobile	[]	Acier 316L
		Dispositif Dash-Pot		
		Structure grappes		
		Gaines		
		Bouchons		
		Fourreau		
	SCP	Eléments absorbants	[]	B4C / Tantale Stellite
		Tête et corps de barre	[]	Z8CNDT18-12
		Tige de barre		
		Gaines		
		Egaliseurs de débit		
		Fourreau		
Eléments absorbants	[]	B4C / Tantale Stellite		

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 24/84

Site	Désignation	Sous-catégorie	Proportion massique	Matériau
Saint-Laurent A1	Barres de contrôle	Tubes coaxiaux	[]	Acier 316LN
		Rotules		
		Tête de barre		
		Pied de barre		
		Anneaux neutrophages	[]	
	Anneaux graphite	[]	Graphite	
	Bras de chargement	-	[]	Acier noir 1042
Saint-Laurent A2	Barres de contrôle	Tubes coaxiaux	[]	Acier 316LN
		Rotules		
		Tête de barre		
		Pied de barre		
		Anneaux neutrophages	[]	
	Anneaux graphite	[]	Graphite	
	Bras de chargement	-	[]	Acier noir 1042
Fausses chemises	-	[]	Acier 304	

Site	Désignation	Sous-catégorie	Proportion massique	Matériau	
Chooz A	Barre de réglage	Tube de gainage	[]	AISI 304	
		Barre absorbante	[]	AIC	
		Barre de réglage et prolongateur (corps)	[]	Zircaloy 4	
	Barre d'arrêt	Barre de réglage et prolongateur (pied)	[]	AISI 304	
		Gainage			
		Pied	[]		347 H
		Barreau	[]		AIC
	Prolongateur fixe	Tête	[]	AISI 304	
		Pied	[]		
		Corps			Zircaloy 4
	Adaptateur fixe	-	[]	AISI 304	
	Postiche	Eléments inox	[]	AISI 304	
		Ressort	[]	Inconel 718	
		Postiche (sous flux cœur)	[]	AISI 304	
	Plaque inf. cœur	-	[]	AISI 304	
	Croisillon de maintien	-	[]	AISI 304	
	Vis tube guide sur plaques inf. et sup.	-	[]	AISI 304	
	Vis de remplacement des tirants	-	[]	316L	
	Broche d'alignement	-	[]	AISI 304	
	Vis de fixation du croisillon sur	-	[]	AISI 304	
Vis sur butées horizontales	-	[]	AISI 304		
Baffle (cloisonnement)	-	[]	AISI 304		
Barrel (enveloppe cœur)	-	[]	Inox 304		

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 25/84

Site	Désignation	Sous-catégorie	Proportion massique	Matériau
Brennilis	Pièce de transition 1	-	[]	Zircaloy 2
	Pièce de transition 2	-	[]	Z8CNDT18-12
	Virole de cuve	-	[]	Z4CND17-12
	Fond de cuve	Plaque interne	[]	Z2CN19-12
	Barres de contrôle	-	[]	Z8CNDT18-12
			[]	Zircaloy 2
		[]	B4C	

Site	Désignation	Sous-catégorie	Proportion massique	Matériau
Chinon A1	Barres de contrôle	Tubes coaxiaux	align="center"> []	Acier 316LN
		Rotules		
		Tête de barre		
		Pied de barre		
		Anneaux neutrophages	[]	B4C – Cu
		Anneaux graphite	[]	Graphite
Chinon A2	Barres de contrôle	Tubes coaxiaux	align="center"> []	Acier 316LN
		Rotules		
		Tête de barre		
		Pied de barre		
		Anneaux neutrophages	[]	B4C – Cu
		Anneaux graphite	[]	Graphite
	Bras Ernuth	-	[]	Acier noir 1042
Chinon A3	Barres de contrôle	Tubes coaxiaux	align="center"> []	Acier 316LN
		Rotules		
		Tête de barre		
		Pied de barre		
		Anneaux neutrophages	[]	B4C – Cu
		Anneaux graphite	[]	Graphite
	Absorbants en IU9	-	[]	Acier absorbant
			[]	Mg-Zr
		[]	Graphite	

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 27/84

Élément	Mg-Zr	Acier absorbants	Z4CND17-12	316 LN (Z3CND17-12)	347 H	B4C	B4C-Cu	AIC	Acier SCP (Creys)	Stellite (Creys)
Carbone		[]	[]	[]	[]	[]	[]		[]	[]
Cobalt		[]	[]	[]	[]				[]	[]
Chrome		[]	[]	[]	[]				[]	[]
Manganèse		[]	[]	[]	[]				[]	[]
Nickel		[]	[]	[]	[]				[]	[]
Soufre		[]	[]	[]	[]				[]	
Silicium			[]	[]	[]				[]	[]
Cuivre			[]	[]	[]		[]		[]	
Molybdène		[]	[]	[]					[]	[]
Titane									[]	
Niobium (+Tantale)					1				[]	
Fer		[]	[]	[]	[]	[]			[]	[]
Tungstène									[]	[]
Zirconium	[]								[]	
Aluminium									[]	
Bore						[]	[]		[]	
Calcium						[]			[]	
Magnésium	[]									
Phosphore		[]	[]	[]	[]				[]	
Azote									[]	
Vanadium									[]	
Sélénium									[]	
Argent								[]		
Bismuth								[]		
Cadmium								[]		
Indium								[]		
Plomb								[]		
Oxygène						[]				

Pour le cas particulier de Bugey 1, le tableau suivant présente la composition des barres de commande :

	Génération 1	Génération 2
B	[]	[]
C	[]	[]
Cr	[]	[]
Cu	[]	[]
Fe	[]	[]
Mn	[]	[]
Mo	[]	[]
Ni	[]	[]
Si	[]	[]

Nous ne disposons pas de composition chimique pour les matériels « treuils et grappins » de Chinon A.

4.2.4 Espèces chimiques toxiques des DAD

Suivant le référentiel du CSA en matière d'espèces chimiques toxiques et tel qu'expliqué au paragraphe 4.1.5, les déchets destinés à ICEDA classés en familles (DAE, DAD) font l'objet d'une évaluation relative aux toxiques

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 28/84

chimiques (cf. [29]) dont la teneur est indiquée dans le tableau suivant avec en grisé les valeurs supérieures au seuil d'identification :

- Déchets inox, provenant des DAD des réacteurs de Brennilis (REL), Chooz A (RE300) et Creys-Malville (RNR),
- DAD UNGG, provenant des réacteurs UNGG,
- DAD Stellites, comprenant les stellites du réacteur de Creys-Malville (RNR).

Toxiques chimiques	DAD UNGG (ppm)	DAD stellite (ppm)
Pb	8.93E+00	5.40E-02
B	3.71E+04	2.70E-01
Ni	1.52E+04	8.55E+02
Cr	7.35E+04	4.53E+03
Cr ^{VI}	0.00E+00	0.00E+00
As	1.78E+02	0.00E+00
Sb	9.81E+00	2.16E-01
Se	7.57E+00	9.00E-04
Cd	6.96E-02	1.80E-03
Hg	0.00E+00	0.00E+00
Be	0.00E+00	0.00E+00
CN ⁻	0.00E+00	0.00E+00

4.2.5 Inventaire quantitatif de déchets DAD

En l'état actuel des connaissances, les Déchets Activés de Démantèlement (DAD) classés MA-VL à conditionner et les masses associées sont les suivants :

Site	Matériels	Masses	Total
BRENNILIS	Virole de cuve	15,3 t	32 t
	Ecran de fond de cuve interne	13,9 t	
	Pièces de transition	1,7 t	
	Barres de commande	0,6 t	
BUGEY 1	Barre de commande génération 1	4,6 t	11 t
	Barre de commande génération 2	1,9 t	
	Fils à la patte et déchets métalliques divers	4,5 t	
CHINON A	Barres de commande en IU17	3,2 t	23 t
	Absorbants en IU9	19,8 t	
CHOOZ A	Têtes et pieds de barres absorbantes Adaptateurs courts et longs	1 t	32 t
	Postiches	1,2 t	
	Corps des prolongateurs	8,5 t	
	Barres absorbantes	4,7 t	
	Crayons sources secondaires	0,2 t	
	Têtes ou pieds de prolongateur	0,9 t	
	Internes fixes	15,3 t	

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 29/84

Site	Matériels	Masses	Total
CREYS-MALVILLE	SAC	2,8 t	66 t
	SCP	18,1 t	
	RAC	45,4 t	
SAINT-LAURENT A	Barres de commande noires	4,3 t	11 t
	Barres de commande grises	4,3 t	
	Fausse chemises	2,4 t	

Soit un total d'environ 175 tonnes de déchets de démantèlement de type MA-VL à destination d'ICEDA. Ce bilan est destiné à évoluer en fonction de l'avancement des caractérisations de ces déchets.

Nota : le dossier de connaissance [27] indique en complément une valeur plus enveloppe de 350 tonnes couvrant dans la catégorie des déchets MAVL les déchets de démantèlement potentiellement redevables du Centre de stockage de l'Aube nécessitant néanmoins une durée d'entreposage préalable sur ICEDA pour décroissance radiologique (ie. déchets FMA-vc à envoi différé au CSA). C'est la raison pour laquelle l'inventaire physique en nombre de colis de DAD (famille EDF-090) a été revisité à la baisse dans le PIGD VE, tenant ainsi compte d'un travail sur les inventaires radiologiques de ces déchets permettant le classement d'une part d'entre eux en déchets FMA-vc à envoi différé au CSA.

Ces déchets sont prédécoupés et disposés par le producteur/démanteleur dans des paniers livrés dans un emballage de transport spécifique.

Quelques déchets longs seront par ailleurs entreposés tels que dans ICEDA. En effet, ICEDA assure une fonction d'entreposage pour des crayons sources de Chooz A (type MAVL). Cette activité est prévue dans le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) d'ICEDA (cf. Décret n°2010-402 du 23 avril 2010). Ces crayons sources sont conditionnés en carquois puis entreposés sur ICEDA dans un emballage de type TN dédié, en attente d'une solution définitive. A l'heure actuelle, ces déchets ne sont pas destinés à être conditionnés en coque béton sur ICEDA.

4.2.6 Inventaire radiologique

Le tableau suivant présente, à titre indicatif, un inventaire radiologique enveloppe estimé au 01/01/2017 pour un "déchet élémentaire", c'est-à-dire un panier de déchets de type MAVL.

Type de déchets	Type du déchet élémentaire constitué	Inventaire radiologique enveloppe (Bq) identifié au 01/01/2017				
		3H	14C	α	β et γ "forts"	β et γ "faibles"
Déchets Activés de Déconstruction	Panier de déchets	2E+12	7,5E+11	4E+10	6E+13	6E+14

Inventaire radiologique enveloppe estimé pour un panier de déchets DAD sur ICEDA

Cet inventaire radiologique a été établi sur la base des activités maximales par radionucléide disponibles pour le site de Chooz A pour lequel EDF dispose d'un inventaire consolidé qui est enveloppe des inventaires disponibles relatifs aux DAD. Les inventaires des structures activées de Chooz A ont en effet été validés par des confrontations calculs/mesures relatives à l'activation d'éléments chimiques dont la concentration est maîtrisée (cf. § 6.4). Ces résultats montrent clairement le caractère enveloppe des calculs ainsi que leur cohérences.

Les DAD ne contiennent pas d' ^{108m}Ag en quantité significative.

L'état des connaissances à ce jour des inventaires radiologiques concernant les DAD (ie. famille EDF-090 du PIGD VE) est disponible dans le dossier de connaissances desdits déchets de [27]. Les inventaires radiologiques d'activation annexés à la présente note (cf. annexe 2) et les inventaires radiologiques de contamination y sont distingués.

L'inventaire radiologique global pour la totalité des DAD et la distribution de l'activité au sein des différents paniers ne seront disponibles qu'après constitution et mesures radiologiques des dits paniers par les démantelateurs de chaque site, en vue de leurs déclarations. A ce stade, EDF ne peut transmettre que des estimations sur la base de calculs d'activation et de forfait de contamination tels fournis dans [27] et rappelées en annexe 2 (inventaire d'activation uniquement). Au fur et à mesure de la consolidation des inventaires radiologiques des différents DAD, EDF fournira les notes de spectres et de ratios de déclaration des dits déchets.

4.2.7 Inventaire quantitatif de colis de déchets DAD

En l'état actuel des connaissances, la masse de déchets MAVL DAD est estimée à environ 175 tonnes pour 350 colis.

5 SPECIFICATIONS D'ACCEPTATION DES DECHETS MAVL ET LEUR CONDITIONNEMENT EN COLIS A ICEDA

Les déchets MAVL expédiés à ICEDA pour être conditionnés en C1PG^{SP} doivent respecter les spécifications d'acceptation présentées ci-après. Ces dernières permettent de garantir le respect du domaine de fonctionnement de l'installation et, à l'issue de la période d'entreposage des colis sur ICEDA, leur comptabilité vis-à-vis des exigences de l'exutoire.

Les spécifications d'acceptation et les critères associés décrits dans ce chapitre n'intègrent pas les exigences et critères à respecter dans le cadre des contrôles liés aux opérations de conditionnement des déchets dans la chaîne cinématique du procédé aboutissant à la production des colis : opération de blocage des déchets dans le panier, décontamination du panier par lavage, opération de calage du panier dans la coque, enfin opération de bouchage de la coque et contrôles finaux.

5.1 SPECIFICATIONS RADIOLOGIQUES

5.1.1 Formalisme

Les spécifications radiologiques d'acceptation des déchets à ICEDA sont basées sur la classification des radionucléides selon les catégories rappelées ci-dessous et décrites dans le décret n°2010-402 du 23 avril 2010 autorisant EDF à créer ICEDA :

- Tritium ;
- Carbone 14 ;
- Autres émetteurs β et γ ;
- Emetteurs α .

Les limites pour les émetteurs β et γ sont affinées en deux groupes, émetteurs β/γ "forts" et émetteurs β/γ "faibles" :

- Les émetteurs β et γ "forts" présentent les plus fortes énergies et sont à la base des problématiques de radioprotection, de ventilation, de thermique, de radiolyse, etc. Pour ICEDA, 6 radioéléments caractérisent ce groupe : ^{60}Co , ^{94}Nb , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{109}Cd , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et $^{113\text{m}}\text{Cd}$.
- Les émetteurs β et γ "faibles" (incluant les émetteurs β purs) : leur incidence dans les problématiques évoquées ci-dessus est de second ordre. Pour ICEDA, 4 radioéléments caractérisent ce groupe : ^{39}Ar , ^{55}Fe , ^{59}Ni et ^{63}Ni .

5.1.2 Activité maximale autorisée par déchet élémentaire

Le tableau suivant précise, pour chaque groupe de radionucléides, l'activité maximale autorisée par déchet élémentaire (cf. [26]).

Un déchet élémentaire correspond à un étui pour les déchets à découper sur l'installation et à un panier pour les déchets pré-conditionnés. La totalité des étuis prévus d'être réceptionnés sur ICEDA sont des DAE et la totalité des paniers prévus d'être réceptionnés sur ICEDA sont des DAD. Pour autant, EDF n'exclut pas la possibilité de pouvoir recevoir un jour des DAD en étuis ou des DAE en paniers, sous réserve bien sûr que les déchets concernés restent dans le périmètre des déchets autorisés par l'installation.

	H3	C14	α	β et γ "forts" (^{60}Co , ^{94}Nb , $^{108\text{m}}\text{Ag}$, ^{109}Cd , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ et $^{113\text{m}}\text{Cd}$)	β et γ "faibles" (^{39}Ar , ^{55}Fe , ^{59}Ni et ^{63}Ni)
Activité maximale par déchet élémentaire	$2 \cdot 10^{14}$	$7,5 \cdot 10^{11}$ (déchets pré-conditionnés en panier) $5 \cdot 10^{11}$ (déchets à découper)	$1 \cdot 10^{11}$ (déchets pré-conditionnés en panier) $1 \cdot 10^9$ (déchets à découper)	$4 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{15}$

Activité maximale d'un déchet élémentaire (en Bq)

La définition de ces limites radiologiques est basée sur les considérations détaillées ci-après.

- L'inventaire tritium provient essentiellement de la réaction du bore sous flux neutronique (B_4C ou borosilicate). Il est donc particulièrement présent dans les crayons absorbants et les crayons poisons ;
- L'inventaire C14 provient essentiellement de la réaction de l'azote et du carbone sous flux neutronique ;
- L'inventaire α est essentiellement composé de produits déposés sur les déchets lors de leur séjour en cœur. Le taux de mise en suspension de l'activité des déchets à découper est supérieur à celui des déchets pré-conditionnés (effet de la découpe sur la mise en suspension). Aussi, la limite d'activité imposée sur ces déchets à découper a été fixée à une valeur moindre que celle imposée aux déchets pré-conditionnés ;
- L'inventaire β et γ "forts" prend en compte la présence de radioéléments de radiotoxicité importante. Il est prépondérant dans les problèmes de radioprotection et important dans l'évaluation des rejets ;

- L'inventaire β et γ "faibles" prend en compte la présence de radioéléments de radiotoxicité modérée ayant peu d'impact sur le dimensionnement de l'installation.

5.1.3 Activité maximale autorisée par colis

L'activité maximale autorisée par colis a été définie en prenant en considération :

- des facteurs limitatifs de conception du colis liés à :
 - la radiolyse engendrée par l'irradiation des déchets sur les matériaux cimentaires le constituant ;
 - la thermique et ses effets potentiels en matière de réaction sulfatique interne dans les dits matériaux ;
- l'inventaire des déchets élémentaires ;
- les hypothèses de remplissage.

Elle est précisée dans le tableau suivant pour chaque groupe de radionucléides (cf. [26]) :

	H3	C14	α	β et γ "forts" (Co60, Nb94, Ag108m, Cd109, Ag110m, Cd113m)	β et γ "faibles" (Ar39, Fe55, Ni59, Ni63)
Activité maximale par colis	$3 \cdot 10^{14}$	$7,5 \cdot 10^{11}$	$1 \cdot 10^{11}$	$4 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{15}$

Activité maximale d'un colis (en Bq)

L'optimisation du remplissage des paniers de déchets constitue un objectif majeur pour limiter le nombre de colis à entreposer sur ICEDA et préserver la ressource du stockage CIGEO. Le paragraphe 9.1 décrit la logistique de répartition des déchets dans les paniers. Dans la mesure du possible, il n'y a pas de mélange de déchets présentant des ratios d'activation différents. Dans le cas contraire, la déclaration radiologique des colis s'appuie sur l'utilisation de ratios d'activation majorants.

Bien que tous les inventaires radiologiques de déclaration ne soient pas disponibles à ce stade, les inventaires enveloppes qui sont utilisés en attente de données consolidées assurent la faisabilité d'un remplissage optimisé des colis conforme aux exigences du tableau précédent. Un inventaire de déclaration au-delà de l'estimation enveloppe qui en aurait été faite se traduirait par un remplissage certes moins optimisé mais possible des colis correspondants afin qu'ils puissent répondre aux exigences précitées, en particulier l'activité maximale en β/γ forts, sans remettre en cause les hypothèses retenues dans le programme de qualification des colis (cf. Pièce 2 du Référentiel).

- Concernant les DAE

Les paniers de DAE sont remplis suite à la découpe en cellule de ces déchets longs placés initialement dans des étuis. L'optimisation du remplissage des paniers dépend de la logistique décrite au paragraphe 7.2.2. et des critères de découpe des déchets tels que fixés dans le même paragraphe.



**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 33/84

- Concernant les DAD

Les paniers de DAD seront produits sur les sites en démantèlement et contrôlés radiologiquement avant expédition à ICEDA pour répondre aux critères fixés au paragraphe 5.1.2.

Sur ICEDA, chaque panier sera placé, après contrôle radiologique, en cellule de blocage des déchets pour un blocage à l'aide d'une matrice cimentaire. Puis, chaque panier bloqué sera placé dans un conteneur afin de constituer un colis répondant aux critères fixés dans le tableau précédent.

Aussi, sauf cas exceptionnel lié par exemple à la réception d'un panier peu plein, un même colis ne pourra contenir que des déchets provenant d'un même panier.

5.1.4 Hypothèses structurantes du programme de qualification des colis

Les études de comportement du colis, du fait de l'activité radiologique des déchets sont essentiellement liées aux effets de la radiolyse et de la thermique. Les hypothèses structurantes considérées pour réaliser ces études sont basées sur :

- Un inventaire radiologique des DAE les plus pénalisants du point de vue de la présence de Co60 mais aussi d'Ag108m, soit les crayons absorbants des grappes noires des tranches REP 900 MWe. En effet, l'Ag108m est un RN énergétique dont la période de décroissance élevée (418 ans) alimente durablement les phénomènes pouvant impacter la tenue des colis,
- Une activité radiologique maximale à 400 TBq en β/γ forts au moment de la fabrication du colis, c'est-à-dire en limite de domaine de fonctionnement d'ICEDA,
- Deux masses de déchets de 400 kg et 1990 kg par colis afin de tester différentes configurations de colis.
 - La masse de 400 kg correspond à la limite inférieure telle définie dans le domaine de fonctionnement d'ICEDA. Elle a vocation à simuler un colis concentrant l'activité radiologique dans un volume faible du panier.
 - La masse de 1990 kg de déchets est choisie de manière à illustrer un colis avec un bon niveau de remplissage, la limite du domaine de fonctionnement d'ICEDA fixant la valeur de masse maximale à 2500 kg de déchets par colis. Cette masse de 1990 kg a vocation à répartir de manière homogène l'activité radiologique dans le volume du panier/colis : elle est liée aux crayons absorbants AIC des grappes noires du palier 900 MW car la masse volumique de ces déchets est la plus forte (de l'ordre de 9300 kg/m³) comparée à celles des autres déchets activés d'exploitation. Une valeur moindre pourrait être considérée pour simuler ce même effet volumique d'homogénéisation radiologique à partir d'un linéaire équivalent de crayons dont la masse volumique équivalente serait plus faible (crayons inox, AIC/B4C,...) que celle des crayons absorbants mentionnés ci-avant : le panier/colis serait alors rempli avec un même linéaire de crayons et un même niveau d'homogénéité radiologique.

A partir de valeurs d'activités spécifiques initiales enveloppe des déchets considérés, les calculs de décroissance radiologique sur les déchets pour respecter la limite de 400 TBq précitée permettent, pour chacune de ces masses, de déterminer l'activité radiologique en ⁶⁰Co et ^{108m}Ag qui sont les deux RN énergétiques majeurs. Le ratio de ces RN alimente l'estimation du débit de dose dans les colis, pour les deux masses précédentes, afin d'estimer l'effet de la radiolyse dans ces deux configurations :

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 34/84

- Ratio Co60/Ag108m à 4,41 pour 400 kg de déchets pour un temps de décroissance de 10 ans vis-à-vis de la limite à 400 TBq en β/γ forts / colis,
- Ratio Co60/Ag108m à 1,6 pour 1990 kg de déchets pour un temps de décroissance de 17 ans vis-à-vis de la limite à 400 TBq en β/γ forts / colis.

La composition isotopique des radioéléments β/γ forts aux périodes de refroidissement et masses de déchets précédentes démontrent à travers les valeurs du coefficient de puissance thermique par radionucléide l'influence majeure du Co60 et de l'Ag108m sur le comportement du colis vis-à-vis de la thermique et de la radiolyse.

	Coefficient thermique (W/Bq)	T0	T= 10 ans	T = 17 ans	
CO60F	4,17E-13	0,25%	29,15%	51,97%	Les temps de décroissance radiologiques en amont d'ICEDA (10 et 17 ans) sont nécessaires au respect des limites radiologiques : - par déchet élémentaire à réception à ICEDA (cf. § 5.1.2) - par colis constitué (cf. § 5.1.3) A activité radiologique en β/γ fort constante, le temps de décroissance en amont d'ICEDA est d'autant plus long que la masse de déchets dans le colis est importante.
NB94F	2,79E-13	0,00%	0,00%	0,00%	
AG108M	2,64E-13	0,02%	6,61%	32,52%	
CD109	3,34E-15	22,20%	58,10%	4,06%	
AG110M	4,54E-13	77,52%	2,77%	0,00%	
CD113M	2,98E-14	0,01%	3,37%	11,45%	

Seul l' ^{110m}Ag présente un coefficient thermique supérieur à celui du Co60 mais sa période est courte (249 jours).

La composition isotopique des radioéléments β/γ faibles aux périodes de refroidissement et masses de déchets précédentes démontrent à travers les valeurs du coefficient de puissance thermique l'absence d'influence sur ces phénomènes.

	Coefficient thermique (W/Bq)	T0	T= 10 ans	T = 17 ans
AR39	3,50E-14	0,00%	0,00%	0,00%
FE55	9,08E-16	83,98%	34,59%	6,98%
NI59	1,15E-15	0,07%	0,29%	0,44%
NI63	2,79E-15	15,94%	65,08%	92,55%
NB93M	4,95E-15	0,01%	0,03%	0,04%
AR39	3,50E-14	0,00%	0,00%	0,00%

5.2 SPECIFICATIONS PHYSICO-CHIMIQUES

Seuls les déchets (paniers ou étuis) respectant les spécifications physico-chimiques d'ICEDA sont acceptés dans ICEDA.

Les déchets traités⁵ et conditionnés dans ICEDA sont essentiellement des aciers (inox ou noir) et des matériaux neutrophages ou inertes (B4C, AIC ou pyrex).

Les spécifications physico-chimiques d'acceptation des déchets sur ICEDA se composent :

- Des déchets autorisés sans restriction ;
- Des déchets autorisés avec restriction ;
- Des déchets interdits ;

5.2.1 Déchets autorisés sans restriction

Les déchets MAVL autorisés sans restriction dans ICEDA sont les suivants :

- Les déchets métalliques entiers ou morcelés (sauf les métaux réactifs avec le liant hydraulique tels que le zinc) ;
- Les matériaux neutrophages (B4C, AIC ou pyrex).

5.2.2 Déchets autorisés avec restriction

Les déchets suivants sont autorisés si les restrictions qui leur sont associées sont appliquées. Ces restrictions ont été établies conformément aux exigences actuelles du CSA et à l'agrément 11AT (agrément coques utilisées pour le conditionnement de déchets hétérogènes FMA-vc du parc REP actuel en colis en béton durable) et tenant compte des spécifications préliminaires d'acceptation des colis de déchets MAVL à CIGEO [35] :

- les résidus de peinture s'ils sont complètement durcis et les solvants évaporés ;
- l'aluminium métallique : la surface d'aluminium est limitée à 0,224 m² par panier ou par étui (en fait 0.1 m² pour un volume de 330 litres) ;
- les déchets pulvérulents : limités à 10% du volume utile d'un panier s'ils sont pré-conditionnés en pot ou en récipient rigide fermé ou à 20% s'ils sont pré-conditionnés dans un pot ou un récipient rigide ouvert (ou avec un orifice aménagé) de façon à permettre la bonne pénétration du coulis cimentaire et garantir le blocage des déchets.

La possible application du référentiel du CSA en matière de déchets pulvérulents est liée à la production sur ICEDA de particules où poussières FMA-vc car principalement issues du sciage des étuis de DAE (ie. déchets contaminés FMA-vc). Le cisailage des crayons activés MAVL génère en comparaison peu de particules. Ces déchets pulvérulents sont récoltés par un dispositif d'aspiration dans des pots métalliques adaptés à la restriction précédente (10% du volume utile d'un panier), à raison d'un pot par panier mélangé à d'autres déchets. Ainsi, il n'est pas nécessaire de procéder à un essai de mélange de ces déchets avec le coulis cimentaire de blocage.

⁵ On entend par le terme "traitement" les opérations de découpe de déchets pour une mise au gabarit des déchets avant leur mise en panier en visant un remplissage optimisé (ie. découpe industriellement faisable avec une technologie simple et robuste, respectant des plannings de chantier économiquement viables).

- Le graphite : uniquement s'il est attaché à une structure métallique et à condition que des dispositions particulières soient mises en œuvre pour éviter sa flottaison lors des opérations de conditionnement sur ICEDA (ie. utilisation de paniers équipés d'une grille anti-flottaison).

Les substances susceptibles de présenter les propriétés ci-dessous sont soumises à déclaration [35]. Le producteur justifiera que ces substances ne constituent pas une source de danger durant les opérations de conditionnement et d'entreposage sur ICEDA et la période d'exploitation de CIGEO :

- Substances potentiellement pyrophoriques : conformément au règlement européen « il n'y a pas lieu d'appliquer la procédure de classification pour les matières solides pyrophoriques lorsque l'expérience acquise dans la fabrication ou l'utilisation d'une substance ou d'un mélange montre que celle-ci/celui-ci ne s'enflamme pas spontanément au contact de l'air à température normale (c'est-à-dire que la substance demeure notoirement stable à température ambiante pendant une durée prolongée (plusieurs jours). » ;
- Substances présentant des risques de reprise de réactivité sous l'effet d'un apport d'énergie (cf. [35]), notamment des graphites irradiés susceptibles de libérer l'énergie accumulée par effet Wigner. Les graphites recuits ne sont pas concernés.

5.2.3 Déchets interdits

Les déchets interdits dans le processus de conditionnement d'ICEDA sont les suivants :

- les substances explosives ou facilement inflammables ;
- les substances et mélanges les plus réactifs au contact de l'eau (réaction exothermique) et dégageant des gaz inflammables, relevant précisément de la catégorie 1 de la classe substances et mélanges qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables ;
- les espèces chimiques pouvant interagir avec le liant hydraulique : magnésium, zinc, uranium, sulfates, chlorures, fluorures, carbonates, ammonium, lithium, carbone organique total ;
- les substances infectieuses ;
- les liquides libres (organiques ou aqueux) ; les déchets humides sont acceptés dans ICEDA mais les déchets ne doivent pas contenir d'eau libre ;
- les matières putrescibles non préalablement traitées ;
- les bois et produits à base de bois et les déchets gonflant de façon significative après reprise d'eau ;
- les tubes fluorescents ;
- les graisses et paraffines ;
- les sources radioactives scellées ;
- les bombes aérosols ;

5.3 LIMITE DE PUISSANCE THERMIQUE PAR COLIS

La puissance thermique maximale d'un colis est dictée par le radionucléide β/γ fort Co60 auquel on attribue une activité radiologique de 400 TBq (activité maximale par colis autorisée pour les β/γ forts).

En effet, le Co60 compte parmi les radionucléides les plus énergétiques de la liste mentionnée⁶ et est doté d'une période de décroissance néanmoins conséquente ($T_{1/2} = 5,3$ ans) impliquant le maintien de cette activité sur des durées non négligeables à l'échelle de l'exploitation de l'installation ICEDA.

Cette activité de 400 TBq en équivalent Co60 équivaut à une puissance thermique maximale par colis de l'ordre de 170 W.

5.4 LIMITE DE MASSE PAR COLIS

La masse maximale d'un colis est de 6400 kg.

6 METHODE DE CARACTERISATION RADIOLOGIQUE DES DECHETS MAVL

6.1 PRINCIPES GENERAUX

Les déchets MAVL sont des déchets à la fois contaminés et activés par le flux neutronique du cœur. La caractérisation radiologique de ces déchets consiste à évaluer leur activité totale, c'est-à-dire la somme de l'activité due à l'activation et celle liée à la contamination.

La méthode de caractérisation radiologique mise en œuvre pour ces déchets repose sur les principes suivants :

- Evaluation du niveau d'activité d'un ou de plusieurs traceur(s) gamma facilement mesurable(s) (⁶⁰Co ou autre) à partir d'une mesure directe (mesure de débit de dose ou spectrométrie gamma) ;
- Evaluation de l'activité des autres radionucléides (gamma, radionucléides difficilement mesurables, émetteurs alphas) par application des ratios ou forfaits d'activation et de contamination à partir du ou des traceur(s).

Nota : cette méthode de caractérisation radiologique des déchets contaminés et activés n'est pas propre aux déchets MAVL : elle est la même quels que soient le niveau d'activité des déchets et l'exutoire identifié.

Les inventaires chimiques et radiologiques des Déchets Activés d'Exploitation (DAE) et des Déchets Activés de Démantèlement (DAD) utilisés pour le dimensionnement de l'installation ICEDA ont été établis avec l'état de la connaissance des déchets à entreposer élaboré fin 2007.

Aujourd'hui, ces inventaires sont affinés et consolidés au fur et à mesure des besoins pour aboutir à des inventaires déclaratifs (i.e. ratios et forfaits utilisés pour déclarer l'activité des déchets avant leur envoi à ICEDA). Ces inventaires déclaratifs sont ou seront établis selon l'état de l'art actuel, respectivement en connaissance des impuretés⁷ dans les matériaux, transport de neutrons et en évolution isotopique sous et hors flux de neutrons. EDF transmettra les différentes notes de spectres et ratios au fur et à mesure de leur mise à jour

La méthodologie mise en œuvre et explicitée ci-après conduit à une évaluation raisonnablement et globalement majorante de l'activité. L'activité des 144 radionucléides de la liste Andra sera évaluée.

⁶ Seul l'Ag110m est légèrement plus énergétique que le Co60 mais pour une période de décroissance plus faible ($T_{1/2} = 250$ jours)

⁷ Concernant l'évolution des calculs d'activation sur les déchets, les compositions chimiques sans impureté, hormis pour le cobalt aux valeurs hautes des spécifications suivies par les métallurgistes, ont été par la suite remplacées par des résultats d'analyses chimiques concernant les impuretés dans les structures activées. L'utilisation de ces informations a conduit à enrichir nos inventaires radiologiques et à les rendre plus robuste.

6.2 ETABLISSEMENT DES RATIOS D'ACTIVATION

La démarche générale mise en œuvre pour quantifier les inventaires radiologiques des déchets activés et établir les ratios d'activation passe par des calculs d'activation des structures. Elle peut être complétée par des prélèvements sur des déchets actifs représentatifs.

Cette démarche est présentée ci-après.

6.2.1 Présentation de la démarche : activation des structures

La figure suivante présente les principales étapes de la démarche.

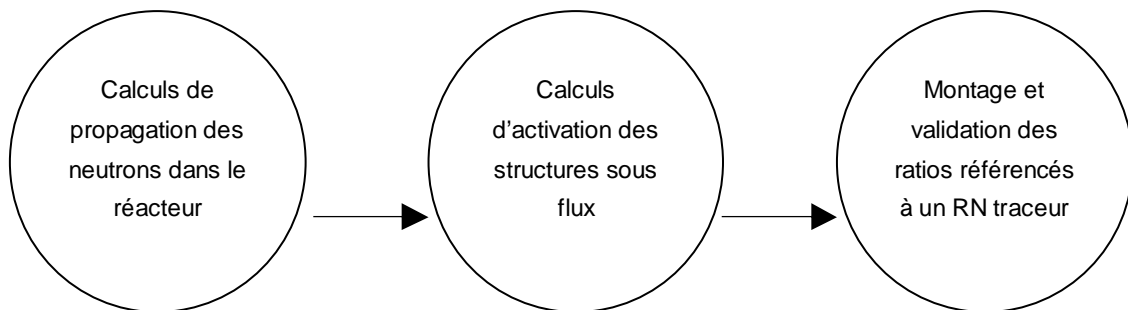


Schéma de principe d'un calcul d'activation et de son application aux déchets activés

Les calculs des inventaires d'activation décrits brièvement sur la figure précédente sont complexes et lourds à mettre en œuvre, notamment en ce qui concerne la prise en compte des historiques d'irradiation (au sens large). Le processus interne EDF de contrôle des études répond à ce constat. En marge de ces contrôles, des vérifications élémentaires sont effectuées pour garantir la qualité des résultats finaux avec la reprises de certaines parties des simulations avec d'autres approches méthodologiques et confrontations des résultats obtenus selon les différentes voies.

L'ensemble des jeux de données est archivé pour pouvoir effectuer de nouvelles vérifications, si besoin.

La démarche de calculs d'activation des structures passe par les trois phases suivantes :

- Le calcul de propagation des neutrons : Résolution de l'équation du transport par la méthode de Monte Carlo. Une cartographie de flux neutronique homogénéisé en énergie est obtenue sur la base d'un calcul de propagation neutronique en « énergie continue ». La description géométrique en 3D du problème devant être traité constitue une donnée d'entrée. A cette géométrie, on associe les compositions élémentaires hors impuretés relatives à chaque structure ainsi qu'une distribution des sources neutroniques. En sortie, le calcul permet de disposer d'une cartographie 3D du flux neutronique multi groupes aux conditions nominales.
- Le calcul d'activation : Résolution des équations de Bateman (évolution des compositions isotopiques sous et hors flux neutronique) par méthode itérative de Runge Kutta. Les activités massiques sont calculées pour les différentes structures d'intérêt. Les données d'entrée sont la cartographie du flux établie par le code de propagation, les compositions élémentaires de chaque volume d'encaissement ainsi que le diagramme de marche de l'installation et l'historique d'irradiation de chaque structure. En sortie, le calcul permet de disposer des inventaires radiologiques relatifs à chaque volume d'encaissement.

Cette étape peut être complétée par une confrontation entre les inventaires calculés et des résultats d'analyses radiochimiques. Cette confrontation est alors faite sur l'activation des éléments « étalons », c'est-à-dire des RN issus d'une activation parfaitement maîtrisée par le calcul (i.e. sans incertitude sur les concentrations initiales des éléments pères et avec la prise en compte de l'historique d'irradiation au plus près de la réalité). Cette confrontation, lorsqu'elle est possible, permet d'affiner le schéma de calcul « propagation + activation ».

- Le montage des ratios référencés à un RN traceur (ou étalon) : cette étape consiste à choisir un RN traceur facilement mesurable sur chaque déchet, puis à déterminer les rapports des activités entre les RN d'intérêt pour les déclarations ANDRA et le traceur. Les traceurs correspondent à des émetteurs gamma facilement mesurables et majoritaires dans le déchet. Le ^{60}Co (en tant que RN issu de l'activation de l'impureté cobalt) est généralement toujours présent quel que soit le type de déchet, en particulier dans les déchets métalliques. Pour certains déchets comme les barres AIC (Ag-In-Cd), le traceur pourrait être l' $^{108\text{m}}\text{Ag}$.
- Cette dernière étape peut être complétée par une confrontation mesures/calculs sur des RN mesurés : à partir des résultats des mesures du traceur associés aux ratios, un inventaire peut être établi et une confrontation peut être lancée entre les inventaires calculés par ratios et les résultats des analyses radiochimiques réalisées sur les échantillons prélevés. Cette confrontation, lorsqu'elle est possible, permet d'affiner la déclaration des ratios.

Contrairement aux ratios de contamination définis par mesures, cette démarche selon laquelle les ratios d'activation sont établis à partir d'une modélisation qui peut être complétée d'une confrontation calculs/mesures, garantit le caractère globalement et raisonnablement enveloppe de la déclaration de l'activité radiologique.

Les codes de référence actuellement utilisés sont d'une part TRIPOLI (développé par le CEA) ou MCNP (développé par le « Los Alamos National Laboratory » aux Etats Unis) pour la propagation des neutrons et le calcul de la cartographie 3D multigroupe du flux neutronique, et d'autre part DARWIN (développé par le CEA) pour l'activation des structures mobiles ou fixes. Ces codes sont utilisés pour établir les inventaires radiologiques déclaratifs des déchets. L'utilisation d'autres outils reste possible.

6.2.2 Définition d'un ratio

Dans le principe, le ratio relatif à un radionucléide donné correspond au rapport entre son activité massique calculée à une date donnée et celle d'un élément traceur facilement mesurable. Le ratio est donné par le rapport des activités calculées selon la relation :

$$ratio_{RN_i} = \frac{\text{activité } RN_i}{\text{activité traceur}} \quad /1/$$

Lors des travaux de démantèlement et donc de la mise en paniers des déchets, la seule mesure de l'activité du traceur permet de remonter aux activités « expérimentales » des différents RN_i au travers de la relation ci-après où « dt » correspond à l'écart de temps entre la date de référence d'établissement des ratios et la date de mesure du traceur, et λ les constantes de décroissance radioactive respectives :

$$\text{activité } RN_i = \frac{ratio_{RN_i} \times \text{activité traceur mesurée} \times \exp(-\lambda_{RN_i} \times dt)}{\exp(-\lambda_{traceur} \times dt)} \quad /2/$$

6.3 ETABLISSEMENT DES FORFAITS DE CONTAMINATION

Le phénomène de contamination est un phénomène complexe qui correspond à un transport de matière avant ou après activation, suivi d'une phase de sédimentation plus ou moins complexe. Que ce soit les étapes d'érosion ou de mise en dépôts, la complexité des phénomènes vient d'une part de la nature physicochimique des matériaux, et d'autre part des conditions thermodynamiques d'occurrence.

A ce jour, il n'existe pas de modèle numérique industriel utilisé à EDF dans le cadre du démantèlement des installations permettant de modéliser les différents phénomènes en lien avec la contamination d'une structure sur la durée d'exploitation et de post-exploitation.

Les évaluations de la contamination sont basées sur les mesures spécifiques avec la prise en compte des fonctionnalités des circuits lors des phases d'exploitation. Pour illustrer, le niveau de ^{60}Co retenu pour le forfait de contamination des DAE est établi sur la base des résultats de campagnes de mesures réalisées sur les circuits des REP dans la zone hors assemblages combustibles.

Ainsi, les forfaits de contamination sont établis sur la base des connaissances acquises sur le niveau de contamination des circuits primaires des réacteurs nucléaires par le biais de mesures directes (spectrométrie gamma et mesures de DED) et de prélèvements suivis d'analyses. Ces forfaits de contamination majorent globalement les valeurs mesurées.

A noter que la contamination est recherchée dans les zones peu ou pas activées de façon à garantir une approche raisonnablement majorante, non impactée par l'activation.

Ces niveaux de contamination sont complétés de ratios de déclaration d'activité des radionucléides difficilement mesurables utilisés pour les déchets à destination des centres de stockage de l'ANDRA.

6.4 INCERTITUDES ASSOCIEES AUX CARACTERISTIQUES RADIOLOGIQUES DES DECHETS RECEPTIONNES DANS ICEDA

L'activité totale des déchets MAVL est la somme de deux contributions : la part activation (majoritaire) et la part contamination.

La part activation est établie par l'application des ratios d'activation par rapport à un traceur gamma facilement mesurable.

Le ratio relatif à un radionucléide donné correspond au rapport entre son activité massique (calculée à une date donnée) et celle de l'élément traceur :

$$ratio_{RN_i} = \frac{\text{activité } RN_i}{\text{activité } ^{60}\text{Co}}$$

En ligne de principe, la relation précédente doit être adaptée de manière à embarquer les différentes sources d'incertitudes, tant vis-à-vis des RN_i que du traceur gamma (^{60}Co par exemple), pour qu'au final la démarche puisse globalement être considérée « enveloppe ».

Ainsi, le caractère enveloppe peut être garanti en associant au ratio précédent une incertitude relative ε obtenue en faisant la somme quadratique des différentes sources d'incertitudes (hors mesure ^{60}Co et fonction de transfert) lors de l'application des ratios :

$$\varepsilon_{ratio} = \sqrt{\left(\varepsilon_{activité\ calculée\ RN_i}\right)^2 + \left(\varepsilon_{activité\ calculée\ {}^{60}Co}\right)^2 + \left(\varepsilon_{variabilité\ pères\ RN_i}\right)^2 + \left(\varepsilon_{variabilité\ Co}\right)^2}$$

Les incertitudes associées aux calculs des activités peuvent porter tant sur la concentration des noyaux pères avant irradiation (dont l'origine correspond aux incertitudes de mesure), que sur les calculs eux-mêmes (dont l'origine correspond principalement aux incertitudes des données de base et aux approximations de modélisation). Ces deux sources étant indépendantes, l'incertitude finale est obtenue en faisant la somme quadratique des incertitudes relatives dues à chacun des termes élémentaires :

$$\varepsilon_{activité} = \sqrt{\left(\varepsilon_{concentration\ mesurée\ noyaux\ pères}\right)^2 + \left(\varepsilon_{calculs\ d'activation}\right)^2}$$

La combinaison des deux équations précédentes amène :

$$\varepsilon_{ratio\ RN_i} = \sqrt{\left(\varepsilon_{mesure\ père_i}\right)^2 + \left(\varepsilon_{mesure\ Co}\right)^2 + \left(\varepsilon_{calculs\ RN_i}\right)^2 + \left(\varepsilon_{calculs\ {}^{60}Co}\right)^2 + \left(\varepsilon_{variabilité\ pères\ RN_i}\right)^2 + \left(\varepsilon_{variabilité\ Co}\right)^2}$$

Pour simplifier l'équation précédente tout en garantissant un caractère conservatif, on peut retenir :

- comme incertitude de mesure une valeur haute unique enveloppe (indépendante du l'élément chimique) ;
- comme incertitude de calcul également une valeur haute unique enveloppe (indépendante du radionucléide) ;
- et enfin comme incertitude liée à la variabilité une valeur haute unique enveloppe (indépendante du radionucléide).

$$\varepsilon_{ratio\ RN_i} = \sqrt{2 \times \left(\varepsilon_{mesure\ père_i}\right)^2 + 2 \times \left(\varepsilon_{calcul\ RN_i}\right)^2 + 2 \times \left(\varepsilon_{variabilité\ pères_i}\right)^2}$$

En règle générale :

- Les mesures des compositions élémentaires sont données avec une précision supérieure à 10%. On retiendra comme incertitude de mesure des noyaux père la valeur de 10%.
- Vis-à-vis des calculs d'activation, il est généralement admis que l'incertitude (principalement liée aux données de base) est de l'ordre de 30%. On retiendra cette valeur.
- Les études des teneurs élémentaires des alliages métalliques montrent que, tous éléments confondus, la variabilité moyenne des éléments pères est de l'ordre de 1,4 (retour d'expérience relatif au rapport entre les valeurs moyennes et les valeurs hautes à 2σ). On retiendra comme incertitude de variabilité des concentrations des éléments pères la valeur de 40%.

L'équation résultante conduit à associer aux ratios d'activation une incertitude globale d'environ 72%.

L'exploitation des ratios passe par une mesure du traceur gamma. L'incertitude de mesure de ce traceur dépend des conditions opératoires et des dispositifs de mesures mis en œuvre.

Le remontage final (combinaison quadratique entre l'incertitude liée aux ratios et celle relative à la mesure du traceur) permet d'évaluer l'incertitude globale sur la caractérisation radiologique due à la part activation.

Des confrontations calculs/mesures sont disponibles de par la caractérisation de déchets tels que les internes fixes de Chooz A, les barres de commande AIC de Bugey 2 ou les capsules du programme de suivi des irradiations de la cuve de Fessenheim.

La validation du schéma de calcul (propagation + activation) se fait sur l'activation d'étalons chimiques dont les concentrations isotopiques sont parfaitement maîtrisées (Fe pour l'acier noir, Fe et Ni pour acier inox, Ag pour barres AIC, etc.).

Les confrontations calculs/mesures sur l'activation des étalons laissent apparaître des surestimations raisonnables des calculs (quelques dizaines de %).

Si l'analyse des rapports calculs/mesures établis suite à la confrontation des inventaires calculés et des résultats des analyses radiochimiques démontrent que les calculs (propagation des neutrons + activation des structures) sont globalement enveloppés d'un facteur nettement supérieur à l'incertitude globale associée à l'utilisation des ratios, le principe de ne pas embarquer d'incertitudes supplémentaires aux inventaires montés par des ratios est retenu. Autrement dit, vis-à-vis des ratios d'activation, l'incertitude de 72% est associée uniquement lorsque les confrontations calculs/mesures montrent que les calculs majoraient les mesures à moins de 72%. Dans le cas contraire, on exploite les valeurs des calculs sans majoration supplémentaire.

La part contamination de l'activité est établie en appliquant un forfait de contamination, basé sur l'évaluation d'une activité forfaitaire d'un traceur gamma et l'application des ratios de contamination usuels.

De la même façon, ce forfait est globalement enveloppé d'un facteur nettement supérieur à l'incertitude globale associée à l'utilisation des ratios de contamination : le principe de ne pas cumuler à ce forfait de contamination une incertitude est retenu.

Hors incertitude de mesure du traceur, l'incertitude associée aux inventaires radiologiques des déchets réceptionnés à ICEDA est donc de 72%. Cette incertitude est prise en compte lors de l'analyse de l'acceptabilité des déchets à ICEDA.

Exemple des barres de commandes de Bugey 2 (cf. § 6.7) :

- L'incertitude de mesure par SMOPY est d'environ 70%.
- L'incertitude associée aux ratios, déterminée précédemment, est de 72%.

Le remontage final (combinaison quadratique entre l'incertitude liée aux ratios et celle relative à la mesure du ^{60}Co) nous amène donc à une incertitude totale d'environ 100%, soit un facteur multiplicatif de 2 sur l'inventaire déclaratif.

6.5 MODALITES D'ETABLISSEMENT DES INVENTAIRES CHIMIQUES ET RADIOLOGIQUES DE REFERENCE UTILISES POUR LE DIMENSIONNEMENT DE L'INSTALLATION ICEDA

Les DAE contribuent majoritairement au dimensionnement global de l'installation ICEDA. Leurs inventaires chimiques et radiologiques ont été établis selon les modalités et les hypothèses suivantes :



**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 43/84

- Flux neutronique : définition d'un flux maximal réaliste qui correspond à une gestion combustible GARANCE ;
- Composition chimique des grappes : d'un point de vue chimique, les teneurs en impuretés considérées correspondent aux valeurs moyennes mesurées (procès-verbaux de coulée) pour un ensemble représentatif des approvisionnements de grappes.

Les calculs ont été réalisés avec le code GUEPARD qui est un code de calcul d'activation neutronique. Ce code a permis d'établir les inventaires radiologiques de référence des DAE utilisés pour le dimensionnement de l'installation ICEDA.

6.6 MODALITES D'ETABLISSEMENT DES INVENTAIRES DECLARATIFS ET PLANNING ASSOCIE

Les inventaires déclaratifs seront étudiés :

- pour les DAD : par site et par typologie de déchets (i.e. par composition chimique) ;
- pour les DAE : par palier (900 MWe, 1300 MWe et 1450 MWe) et par typologie de déchets (i.e. par composition chimique).

Des regroupements (par palier et/ou par typologie de déchets) pourront être effectués pour limiter le nombre de jeux de ratios d'activation différents et faciliter l'exploitation d'ICEDA (tout en veillant à aboutir à une majoration acceptable de l'activité des colis).

Les modalités d'établissement de ces inventaires déclaratifs ainsi que le planning associé sont présentés dans les paragraphes suivants. Néanmoins, les précisions suivantes peuvent être apportées, en particulier vis-à-vis des données d'entrée utilisées pour les calculs d'activation :

- Les données d'entrée doivent permettre de remonter à la géométrie complète du réacteur, depuis le combustible jusqu'au bâtiment réacteur en passant par les internes mobiles (i.e. barres de commande). En règle générale, les plans sont retenus comme donnée de référence. Si des maquettes numériques 3D existent, elles peuvent avantageusement remplacer des plans 2D.
- La seconde information d'intérêt est la composition chimique de chaque structure. Si dans le principe la connaissance des normes peut être suffisante pour alimenter les calculs de propagation (i.e. concentrations des éléments majeurs ayant un impact sur les qualités mécaniques de la structure), il s'avère que la connaissance des concentrations des éléments mineurs est importante au regard des exigences de l'ANDRA (exploitant des exutoires de stockage définitifs des déchets radioactifs) en lien avec l'arrêté INB du 07/02/2012. Pour répondre à ce besoin, EDF exploite au maximum les informations des procès-verbaux de coulées fournis par les fondeurs et les complète par des analyses chimiques ponctuelles dans l'objectif de disposer d'une base de données représentative des différentes structures des différents réacteurs (impuretés comprises).
- Pour les calculs d'activation, la base de ces calculs est de simuler au plus près les historiques d'irradiation. Pour ce faire, toutes les informations relatives au fonctionnement de l'installation sont collectées pour monter les hypothèses de calcul.
- Vis-à-vis des données de base (sections efficaces, filiations radioactives, périodes de décroissance, ...), en ligne de principe, les dernières bibliothèques qualifiées en date sont utilisées.

Planning prévisionnel (à ce stade) associé :

Les inventaires déclaratifs sont établis au fur-et-à-mesure des besoins et suivant le planning de démantèlement :

	DECHETS	DATE
Déchets Activés d'Exploitation (DAE)	900 MWe – BU2 (pour essais en actif)	Inventaire disponible
	900 MWe – Tous paliers	2017
	1300 MWe – Tous paliers	2018
	1450 MWe – Tous paliers	<i>A définir</i>
Déchets Activés de Démantèlement (DAD)	Chooz A	Inventaire disponible
	Creys-Malville	Inventaire disponible
	Brennilis	<i>A définir – Priorisation selon planning de démantèlement</i>
	Saint-Laurent A	
	Chinon A	
	Bugey 1	

Des étuis de crayons absorbants en provenance d'un CNPE (le site de Bugey – tranche 2 était initialement pressenti mais la recherche de déchets en provenance d'un autre site est en cours) et les déchets de Chooz A pourront être utilisés pour les essais en actif de l'installation.

6.7 EXEMPLE DES BARRES DE COMMANDE DE BUGEY 2

Des étuis de barres de commande de Bugey 2 (REP 900 MWe CP0) ont été caractérisés notamment dans l'objectif de tester le dispositif de mesure prévu sur site. Ces étuis contiennent des crayons absorbants AIC (Argent Indium Cadmium) chemisés d'acier inox. L'inventaire radiologique d'activation déclaratif a été établi selon la méthodologie présentée sur la base des informations disponibles à mi-2015, avec notamment :

- Les cartographies 3D du flux neutronique multi-groupe aux conditions nominales ;
- Les dernières compositions chimiques connues ;
- Des calculs d'activation qui intègrent l'historique de fonctionnement du réacteur ainsi que les positions axiales et radiales des barres ;
- Une campagne de mesures par spectrométrie gamma des étuis.

La campagne de mesure s'est déroulée en 2014 dans la piscine du Bâtiment Combustible (BK) de Bugey 2 : les étuis de crayons AIC ont été caractérisés sous eau par spectrométrie gamma avec le système « SMOPY » (Safeguard MOx Python device) et l'activité du Co60 a été évaluée pour chacun des étuis.

Par application des ratios d'activation et d'un forfait de contamination, on aboutit à une activité raisonnablement et globalement majorante pour chacun des 144 radionucléides de la liste Andra (cf. § 4.1.7).

Cette activité est celle qui sera déclarée pour l'envoi des déchets à ICEDA : elle est compatible avec le domaine de fonctionnement de l'installation et confirme le caractère enveloppe de l'inventaire radiologique retenu pour le dimensionnement de l'installation.

7 RESPECT DES SPECIFICATIONS D'ACCEPTATION DES DECHETS ET LEUR CONDITIONNEMENT EN COLIS A ICEDA

La vocation d'ICEDA est d'accueillir des déchets activés dans leurs emballages de transport afin de les conditionner en colis et non pas d'accueillir directement des colis de déchets MAVL déjà conditionnés.

7.1 RESPECT DES SPECIFICATIONS D'ACCEPTATION DES DECHETS A ICEDA

7.1.1 Déclaration des déchets via l'outil informatique dédié (type DRA)

Les producteurs de déchets déclarent à l'exploitant d'ICEDA les caractéristiques radiologiques et physicochimiques des déchets élémentaires (paniers ou étuis) préalablement à leur expédition vers l'installation.

Sur la base de la déclaration des déchets dans l'outil informatique, un contrôle des substances autorisées ou interdites est réalisé conformément aux spécifications d'acceptation définies pour l'installation ICEDA.

Cette déclaration est réalisée via l'outil informatique dédié à la déclaration des déchets radioactifs (type DRA).

Pour déclarer les caractéristiques radiologiques des déchets activés :

- les ratios d'activation et les forfaits de contamination associés doivent avoir été préalablement validés selon la méthodologie présentée au § 6.2.2.
- les sites producteurs de déchets doivent réaliser systématiquement des mesures sur chaque déchet « élémentaire » (panier ou étui) afin de quantifier l'activité des émetteurs gamma traceurs connus (majoritairement le Co60).

Les mesures sur site peuvent être les suivantes :

- soit une mesure de Débit de Dose ;
- soit une mesure par spectrométrie gamma.

L'activité des déchets est ainsi déclarée dans l'outil informatique en appliquant à la mesure du ou des traceur(s) gamma les ratios/forfaits d'activation et de contamination validés. L'inventaire de l'activité des 144 radionucléides définis par l'Andra est déclaré.

7.1.2 Acceptation et validation de l'expédition des déchets vers ICEDA

Préalablement à l'acceptation et à la validation de l'expédition des déchets vers ICEDA, l'exploitant d'ICEDA contrôle par le biais de l'application informatique dédiée à la déclaration (type DRA) et au travers de la déclaration du site producteur la conformité des activités radiologiques et des caractéristiques physiques des déchets (nature physique).

Ce contrôle aboutit à la validation par l'exploitant de la prise en charge de chaque déchet élémentaire préalablement à son expédition.

7.1.3 Réception des déchets sur ICEDA

A réception des déchets sur l'installation, l'exploitant d'ICEDA contrôle systématiquement la cohérence entre les informations de la Fiche d'Identification des Déchets Élémentaires (FIDE) et les informations renseignées dans l'application informatique de déclaration (traçabilité).

Les étuis de DAE et les paniers DAD pré-conditionnés disposent de plaque d'identification avec référence. La cohérence de ces identifiants est contrôlée lors du déchargement en cellule de conditionnement.

L'exploitant peut également réaliser à la réception, par sondage, des mesures de Débit de Dose sur les déchets élémentaires MAVL (étuis, paniers).

Tous les colis ou déchets radioactifs entrant sur ICEDA sont ainsi identifiés dans l'application informatique de déclaration (type DRA). La localisation de chaque colis dans l'installation ICEDA est gérée via l'application informatique développée spécifiquement pour les besoins d'exploitation et de traçabilité d'ICEDA.

7.1.4 Gestion des non conformités

Les déchets à expédier vers ICEDA qui ne respectent pas les exigences spécifiées (radiologiques ou physicochimiques) font l'objet d'une non-conformité détectée par le producteur ou par l'exploitant ICEDA. Ces déchets ne sont pas admis dans ICEDA.

7.2 PRINCIPES DE REPARTITION DES DECHETS EN PANIER

La recherche d'un remplissage optimisé des paniers de déchets est un objectif majeur pour limiter le nombre de colis à entreposer sur ICEDA puis à stocker à CIGEO.

La logistique de répartition des déchets dans les paniers est décrite plus en détails au paragraphe 9.1. Dans la mesure du possible il n'y a pas de mélange de déchets présentant des ratios d'activation différents. Dans le cas contraire, la caractérisation radiologique des colis s'appuie sur l'utilisation de ratios d'activation majorants.

7.2.1 Remplissage des DAD en panier

Le principe de découpe des DAD sur les sites en démantèlement est celui d'une mise au gabarit des déchets pour qu'ils soient placés dans les paniers avec la recherche d'un remplissage optimisé de chaque panier par la mise en œuvre de solutions de découpe simples, robustes, industrielles, sur un plan économique notamment au regard du planning de démantèlement. Les opérations de découpe tiennent compte des exigences de sûreté et de sécurité des travailleurs.

Un panier de DAD est donc rempli de manière optimisée sur le site en démantèlement. Son activité radiologique est contrôlée par le producteur avant expédition à ICEDA de manière à s'assurer qu'elle respecte bien les critères liés à l'agrément transport du site vers ICEDA, et qu'elle respecte également les critères fixés aux paragraphes 5.1.2 et 5.1.3 ou de manière plus complète les spécifications d'acceptation des déchets définies pour l'installation ICEDA [21].

7.2.2 Remplissage des DAE en panier

Les DAE sont des déchets longs parvenant sur ICEDA dans des étuis. Du point de vue du remplissage des paniers, il est donc nécessaire de les découper. Les essais expérimentaux réalisés en 2015 à l'échelle 1 démontrent qu'une découpe des crayons (diamètre de l'ordre de 10 mm) en tronçons de 10 cm permet d'optimiser le remplissage en vrac de chaque panier en limitant le foisonnement. Cette découpe garantit le conditionnement d'un linéaire de 3360 mètres de crayons par panier. Ce linéaire correspond, à titre d'exemple, à 3 étuis de 250 crayons de 4.48 m par colis. A noter cependant que le mélange d'un nombre non entier d'étuis dans un panier est possible car l'activité radiologique du panier est contrôlée par une mesure par spectrométrie gamma sur le panier (et non pas déterminée par la somme des activités de chaque étui).

Les étuis de DAE entreposés sur le parc en exploitation sont contrôlés radiologiquement avant expédition à ICEDA pour répondre aux critères fixés au paragraphe 5.1.2 ou de manière plus complète aux spécifications d'acceptation des déchets définies pour l'installation ICEDA [21].

Lors de la planification des expéditions, la constitution des lots de 12 étuis par emballage TN est validée par l'Exploitant ICEDA afin de garantir la production de colis optimisés sur ICEDA. Les critères de constitution des lots tiennent compte :

- Des contraintes d'exploitation des CNPE,
- Des règles de colisage par type de déchets (nombre d'étuis par panier),
- Des contraintes liées à la caractérisation radiologique (dans la mesure du possible, non mélange de déchets de ratios d'activation différents dans un même panier, le cas échéant la caractérisation radiologique du colis s'appuie sur l'utilisation de ratios d'activation majorants),
- De l'activité et de la puissance thermique maximale autorisée par panier (mélange de déchets chauds et froids).

De plus, ICEDA dispose, en cellule de découpe des déchets, d'un rack tampon d'une capacité d'entreposage de 25 étuis en attente de traitement, soit l'équivalent du contenu de 2 emballages TN (à un étui près).

A partir des données radiologiques des étuis disponibles dans ce rack, l'exploitant est en mesure d'associer les DAE qui vont être découpés et placés dans un même panier afin de constituer un colis optimisé en remplissage répondant aux critères fixés au paragraphe 5.1.3.

Les données d'inventaire radiologique confirment aujourd'hui qu'une décroissance de l'ordre de 10 ans des étuis sur CNPE permet une compatibilité radiologique et thermique de ces déchets avec le domaine de fonctionnement d'ICEDA (cf. § 5.1.2. et 5.1.3) qu'ils contiennent ou pas de ^{108m}Ag . Cette décroissance permet en particulier une introduction du linéaire de crayons évoqué ci-avant par colis respectant le critère de puissance thermique de 170 W à la phase de réalisation du colis (ie. avant décroissance radiologique du colis en phase d'entreposage sur ICEDA pour son acceptation ultérieure à CIGEO). Ainsi, considérant un colis au remplissage optimisé contenant des DAE en provenance de plusieurs étuis, les données radiologiques de chaque étui sont bien inférieures aux critères fixés au paragraphe 5.1.2 pour les déchets élémentaires cela afin de respecter les critères fixés au paragraphe 5.1.3 pour les colis finis.

Il n'existe donc pas de piste d'optimisation particulière concernant la répartition par colis de l'activité en ^{108m}Ag pour les déchets qui en contiennent.

7.3 RESPECT DES SPECIFICATIONS DE CONDITIONNEMENT DES DECHETS EN COLIS A ICEDA

Deux spécifications doivent être observées et contrôlées lors de la phase de conditionnement des déchets en panier avant d'enclencher les phases irréversibles (vis-à-vis des déchets) que sont le blocage des déchets en paniers, le calage des paniers en conteneurs et le bouchage des colis : l'activité radiologique maximale ainsi que la puissance thermique maximale par panier/colis.

7.3.1 Activité maximale par colis

Une mesure (directe ou par spectrométrie gamma) est réalisée systématiquement sur les paniers pleins en cellule de conditionnement avant blocage des déchets dans le panier. Cette mesure et l'application des ratios/forfaits

d'activation et de contamination associés permettent de contrôler et déclarer l'activité du colis avant le blocage des déchets et donc de garantir le respect de l'activité maximale par colis fixée par le domaine de fonctionnement de l'installation.

La conformité de cette mesure au domaine de fonctionnement de l'installation est systématiquement contrôlée par l'opérateur via l'application informatique dédiée à l'exploitation d'ICEDA avant de démarrer les opérations de fabrication des colis.

Si l'activité d'un panier dépasse l'activité maximale autorisée par colis (dans le cas des DAE principalement suite au conditionnement des déchets de plusieurs étuis dans un même panier), le panier reste en cellule de conditionnement et un nouveau tri des déchets est réalisé. Ce tri consiste en une reprise d'une partie des déchets qui seront conditionnés dans un autre panier. Ces opérations sont tracées et la nature et la quantité des déchets par panier sont mises à jour dans l'application informatique.

7.3.2 Puissance thermique par colis

Le respect de la limite de puissance thermique par colis est contrôlé par l'opérateur via l'application informatique dédiée à ICEDA qui calcule la puissance thermique de chaque colis à partir :

- de l'activité déclarée pour chaque radionucléide pour le colis suite à la mesure d'activité du ou des traceur(s) gamma en cellule de conditionnement et l'application des spectres et ratios associés ;
- d'un tableur paramétré dans l'application informatique qui permet d'affecter à chaque activité de chaque radionucléide (a minima pour les radionucléides les plus énergétiques du groupe β/γ forts) la puissance thermique correspondante.

De la même façon que l'activité maximale par colis, si la puissance thermique d'un panier dépasse les limites du domaine de fonctionnement, le panier reste en cellule de conditionnement et un nouveau tri des déchets est réalisé.

8 DESCRIPTIF, CARACTERISTIQUES DES COLIS PRODUITS ET ELEMENTS RELATIFS A LEUR STABILITE PHYSICO-CHIMIQUE

8.1 DESCRIPTIF DU COLIS C1PG^{SP}

8.1.1 Descriptif du conteneur

Le conteneur C1PG^{SP} est constitué d'une enveloppe en Béton Hautes Performances (BHP), autoplaçant ou pas.

Le conteneur, réalisé selon les prescriptions du CSCT « conteneur » [32] est fabriqué et livré par une installation industrielle conventionnelle de génie civil préfabriqué liée à EDF par contrat.

Les principales caractéristiques dimensionnelles de ce conteneur sont présentées sur la figure suivante (dimensions en mm, hors tolérance).

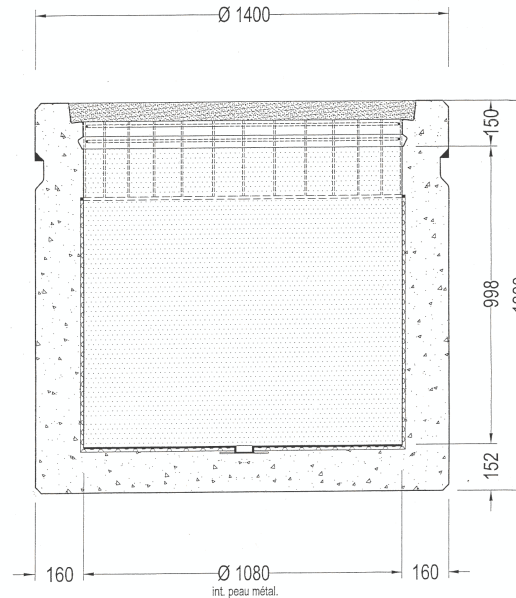


Schéma du conteneur C1PG^{SP}

La masse d'un conteneur C1PG^{SP} est de 2390 kg⁸. Le conteneur C1PG^{SP} comprend un ferrailage noyé dans l'enveloppe en béton. Ce ferrailage constitue l'armature métallique du conteneur. Une peau métallique interne servant de moule perdu à la coulée du conteneur dispose d'un peigne qui participe à renforcer la liaison bouchon-conteneur, en complément du profil gouttière équipant le conteneur au droit de son interface avec le bouchon.

Le procédé de fabrication de ce conteneur C1PG^{SP} conduit donc à la présence :

- D'un béton Hautes Performances qui répond aux exigences du Centre de Stockage de l'Aube (CSA) de l'Andra pour des colis de déchets FMA-vc conditionnés en conteneur béton durable,
- D'une armature métallique en FeTE500 ou équivalent, d'une masse totale d'environ [] kg. Au-delà même des règles de l'art, cette armature est recouverte d'une épaisseur minimale de [] mm de béton Hautes Performances du côté externe,
- D'une peau interne en acier, d'épaisseur [] mm sur les côtés et [] mm en fond ; la masse de la peau est d'environ [] kg,
- D'un peigne métallique lié à la peau métallique interne du conteneur,
- D'une ceinture de manutention en acier, d'une masse d'environ 16 kg, permettant d'éviter tout contact acier/béton lors des opérations de manutention des conteneurs et colis. La section de cette couronne est représentée par un triangle rectangle isocèle de 26,5 mm minimum de côté. La pièce terminée en assemblage est zinguée et bichromatée,
- D'une interface bouchon/conteneur en béton localement désactivée afin de permettre une reprise de bétonnage offrant une liaison de béton homogène à la coulée du bouchon de fermeture du colis.

⁸ Pour mémoire, la masse théorique à vide du conteneur C1PG usuel avec polystyrène est de 2310 kg

Afin d'éliminer à la source le risque de production d'hydrogène de radiolyse à partir de matériaux organiques, ce colis ne dispose pas de vinyle, ni de polystyrène, tels que classiquement inclus dans les conteneurs C1PG entre la peau métallique servant de moule interne au conteneur et le béton coulé de celui-ci.

8.1.2 Descriptif du panier de déchets

A l'intérieur du conteneur est placé un panier métallique avec fond (de type « fût perdu ») accueillant les déchets à bloquer. Les caractéristiques du panier métallique inox de type MAVL sont présentées ci-dessous conformément au CSCT [33] :

[]

Caractéristiques dimensionnelles d'un panier de déchets MAVL

Les têtes de paniers seront dotées, en partie supérieure, d'une gorge intérieure permettant leur manutention.

Composition élémentaire (en %) :

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Autres
<0.03	< 1.00	< 2.00	< 0.045	< 0.015	18.0 – 20.0	-	10 - 12	N < 0.11

Concernant les déchets dont la densité apparente s'avère proche de celle du coulis de blocage des déchets, une grille anti-flottaison s'adapte au niveau de la gorge de manutention du panier et permet la coulée gravitaire du coulis sans risque de flottaison. La conception de cette grille ne nécessite pas d'évolution du design du panier. Les déchets identifiés par ce risque sont les suivants :

- Éléments graphite des DAD,
- Déchets induits de copeaux/poussières générés en phase de découpe des déchets sur ICEDA conditionnés en pots métalliques fermés.

8.1.3 Modes d'identification

Les codes d'identification des paniers et des conteneurs (cf. § suivants) sont tracés dans l'application informatique dédiée à l'installation ICEDA. Cette application garantit la traçabilité de ces équipements et permet donc de tracer les mouvements de chaque panier/colis, lors du conditionnement et de l'entreposage, et de localiser un colis de déchets dans les cellules de traitement et dans les halls d'entreposage.

8.1.3.1 Identification du conteneur

Le principe de référencement mise en place par l'Andra sur le CSA pour les coques béton est repris. En complément du marquage peinture traditionnels, la codification fait l'objet d'un marquage pérenne de quelques millimètres de profondeur sous la ceinture de manutention par le biais d'un sablage du béton des coques en sortie de fabrication. Des essais de faisabilité ont validé le choix de cette solution. La taille de caractères est définie de manière à faciliter la visualisation à distance du code de chaque colis par les hublots en verre blindé et/ou par caméras en cellules chaudes de conditionnement, puis en hall d'entreposage.

8.1.3.2 Identification du panier de déchets

Afin d'assurer la traçabilité des contrôles de réception et du conditionnement, les paniers seront munis d'un numéro de série selon trois marquages électrolytiques à 120° :

- Les numéros sur la paroi verticale des paniers seront lisibles à distance par caméra ou visuellement sous eau ou au travers d'une vitre de forte épaisseur sans déformation (type hublots en verre blindé),
- La hauteur des lettres et des chiffres sera de 80 mm.

8.1.3.3 Identification du colis fini

Le marquage des coques permettra l'identification des colis sur la durée d'entreposage et la durée de réversibilité à CIGEO (cf. §8.1.3.1).

8.1.4 Descriptif du blocage des déchets en panier

Les déchets MAVL sont bloqués dans un panier métallique à l'aide d'un coulis cimentaire de blocage de formulation EDF. La vocation de ce coulis de blocage est le remplissage des vides dans le panier entre les déchets avec une tenue mécanique du bloc de déchets.

8.1.5 Descriptif du calage du panier de déchets en conteneur

Le panier de déchets MAVL bloqués est inséré dans un conteneur C1PG^{SP} puis calé par le même coulis cimentaire. La vocation de ce coulis de calage est le remplissage des vides entre le panier et l'intérieur du conteneur avec une tenue mécanique du bloc de déchets.

8.1.6 Descriptif du bouchon de fermeture du colis

Le colis disposant du panier calé avec ses déchets bloqués est obturé par coulée d'un béton de même formulation que celle du conteneur. La masse du bouchon est de l'ordre de [] kg. La vocation de ce béton de bouchage est d'assurer une épaisseur de matériau homogène et confinant autour du bloc de déchets avec une tenue mécanique de cette enveloppe confinante.

8.1.7 Masse du colis

La densité de remplissage des colis est variable selon les déchets (géométrie, activité radiologique), selon qu'ils soient pré-conditionnés ou non par le producteur, selon également les contraintes de logistique des sites producteurs.

La mise en conteneur de déchets aux géométries hétéroclites pourra parfois conduire à une faible densité de remplissage. La masse estimée de déchets par colis est comprise entre 0,40 et 2,5 tonnes tel que défini dans le domaine de fonctionnement d'ICEDA, l'objectif étant la recherche d'une densité de remplissage la plus forte possible.

La masse totale du colis en sortie de process de conditionnement de déchets radioactifs sur ICEDA peut varier de 4,5 à 6,4 tonnes.

La masse volumique du colis (masse totale du colis par rapport au volume extérieur) est comprise entre 2 t/m³ et 3,5 t/m³.

8.2 CARACTERISTIQUES RADIOLOGIQUES DU COLIS C1PG^{SP}

8.2.1 Débit de dose

Définir une typologie moyenne de remplissage d'un colis ne constitue pas un exercice réalisable. EDF a opté pour deux types de remplissage du point de vue de l'estimation du débit de dose (DDD) à des fins d'une quantification d'une part enveloppe et d'autre part plus conforme à un colis au remplissage optimisé :

- Une masse faible de 400 kg de déchets dans un colis : l'objectif est de concentrer l'activité radiologique en partie basse du colis.
- Une masse réaliste de 1990 kg de déchets dans un colis : l'objectif est de répartir l'activité radiologique de manière homogène dans le volume du panier cf. § 5.1.4).

L'estimation du débit de dose au contact (ie. pour le calcul à une proximité de 5 cm de la surface du colis) et à un mètre a été réalisée considérant les configurations précédentes, une activité radiologique pénalisante de 400 TBq en présence d'un mix ⁶⁰Co/^{108m}Ag relatif à des crayons absorbants AIC d'une tranche 900 MW ainsi que différentes échéances de temps.

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

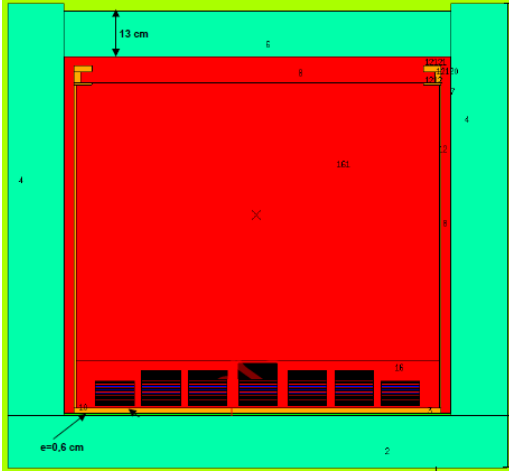
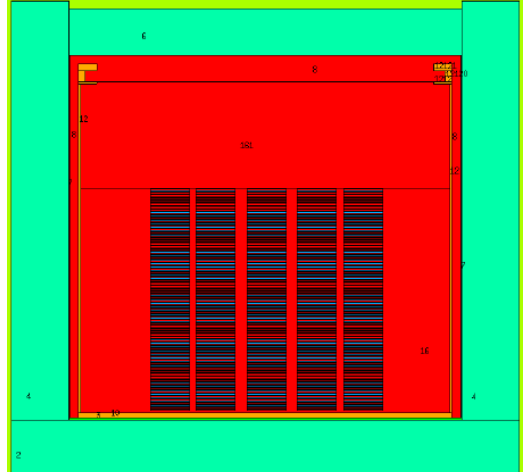
Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 53/84

	Colis « enveloppe à court terme »		Colis « enveloppe sur le long terme »	
	<p>400 TBq d'activité radiologique attribués à un mix $^{60}\text{Co}/^{108}\text{mAg}$ de crayons absorbants AIC d'une tranche 900 MW</p>  <p>400 kg de tronçons de crayons de 10 cm de long et 9,7 mm de diamètre répartis horizontalement selon un arrangement carré avec entraxe de 1 cm entre les crayons</p>			 <p>1990 kg de tronçons de crayons de 10 cm de long et 9,7 mm de diamètre répartis horizontalement selon un arrangement carré avec entraxe de 1 cm entre les crayons</p>
Position	« au contact »	A 1 mètre	« au contact »	A1 mètre
DDD max. en vertical face aux voiles du colis	4,0 Gy/h à to 0,2 Gy/h à 50 ans	0,3 Gy/h à to 15 mGy/h à 50 ans	1,7 Gy/h à to 0,2 Gy/h à 50 ans	0,2 Gy/h à to 23 mGy/h à 50 ans
DDD max. sous le colis	18,3 Gy/h à to 0,8 Gy/h à 50 ans	3,5 Gy/h à to 0,2 Gy/h à 50 ans	3,2 Gy/h à to 0,4 Gy/h à 50 ans	0,5 Gy/h à to 64 mGy/h à 50 ans
DDD max face au bouchon	6 mGy/h à to <0,1 mGy/h à 50 ans	1,6 mGy/h à to <0,1 mGy/h à 50 ans	0,2 Gy/h à to 9,5 mGy/h à 50 ans	33 mGy/h à to 1,8 mGy/h à 50 ans

Selon les configurations précédentes de colis « enveloppe », les estimations de débit de dose (DDD) présentées dans le tableau précédent indiquent des valeurs maximales de l'ordre de 2 à 4 Gy/h au contact des voiles verticales d'un colis juste fabriqué et en limite radiologique par colis telle que définie dans le domaine de fonctionnement d'ICEDA.

Les valeurs maximales de dosimétrie au contact sous le même colis juste fabriqué sont de l'ordre de 0,5 à 18 Gy/h. Elles varient enfin entre 6 mGy/h et 0,2 Gy/h au contact du bouchon.

A titre illustratif, les estimations maximales de débit de dose au contact à 50 ans varient selon les configurations de valeurs faibles < 0,1 mGy/h jusqu'à des valeurs néanmoins inférieures à 1 Gy/h.

Précisions sur la participation des neutrons au débit de dose :

Les déchets conditionnés dans les colis ICEDA sont essentiellement composés de produits de fission et d'activation. Les déchets ne générant aucun flux neutronique, aucun DED neutrons n'est pris en compte.

La contamination alpha a été mesurée sur des échantillons disponibles sur Chooz A qui présentent des valeurs particulièrement élevées. Néanmoins, les ratios établis par rapport au ^{60}Co montrent que la contamination alpha se situe plusieurs décades sous le niveau de ^{60}Co . L'application des rapports d'embranchement concernant la fission spontanée conduit encore à diminuer le niveau de neutrons émis par Becquerel et à considérer ce dernier comme négligeable. Aussi, aucun DED neutrons n'est pris en compte.

8.2.2 Puissance thermique

Le respect des spécifications d'acceptation des déchets activés sur l'installation ICEDA (cf. § 5.1.2) nécessite une décroissance radiologique préalable des déchets sur leur site de production, en particulier pour le respect du seuil de 400 TBq par colis en émetteurs β/γ forts au moment de sa fabrication.

Sur la base de nos connaissances en matière d'inventaires radiologiques des déchets activés DAE et DAD, deux types de colis ont été identifiées et sont considérées sur le plan de la thermique des colis MAVL ICEDA :

- Les colis comportant des déchets dont la puissance thermique est essentiellement dictée par la présence de ^{60}Co dans les déchets (ie. impuretés cobalt),
- Les colis dont la puissance thermique est dictée par la présence de ^{60}Co (ie. impuretés cobalt) et de ^{108m}Ag dans les déchets (ie. composition élémentaire en argent dans certains aciers inoxydables).

A la production, la puissance thermique maximale autorisée par le domaine de fonctionnement est de 170 W par colis. Elle correspond à une activité de 400 TBq en équivalent Co60.

Considérant les deux précédents types de colis, les périodes de décroissance radioactives du ^{60}Co et de ^{108m}Ag , la composition chimique élémentaire des crayons disposant d'argent, le tableau suivant propose une estimation de l'évolution au cours du temps de la puissance thermique d'un colis fictif « enveloppe » (du point de vue de sa puissance thermique) à l'échelle de l'entreposage sur ICEDA :

Puissance thermique / colis	A to	A to + 5 ans	A to + 10 ans	A to + 15 ans	A to + 20 ans	A to + 25 ans	A to + 30 ans	A to + 35 ans	A to + 40 ans	A to + 45 ans
Colis de déchets « enveloppe »	170 W	127 W	59 W	47 W	41 W	37 W	35 W	34 W	33 W	33 W

A noter, la valeur de 170 W est pilotée par le premier type de colis (ie. sans argent) et les autres valeurs par le second. A titre illustratif, un colis du premier type a une puissance estimée à 3 W à to + 45 ans.

8.2.3 Contamination surfacique

- Le zonage déchets de l'installation impose, pour les colis, un niveau de contamination surfacique labile non fixée inférieur à 0,4 Bq/cm² pour les émetteurs β/γ et inférieur à 0,04 Bq/cm² pour les émetteurs α .
- Les spécifications préliminaires d'acceptation des colis à CIGEO fixent, pour les colis à réception, un niveau de contamination surfacique labile non fixée inférieur à 4 Bq/cm² pour les émetteurs β/γ et inférieur à 0,4 Bq/cm² pour les émetteurs α .

8.2.4 Matières fissiles

La totalité de la matière fissile qui sera présente sur ICEDA provient de la contamination alpha des déchets.

Sur la base des inventaires radiologiques connus à ce jour, la teneur moyenne en matière fissile par colis est inférieure à 0,1% en masse.

Cette limite de 0,1% est donnée en masse de déchets par colis selon le classement en catégories des matières dispersées et faiblement concentrées définies à l'article R. 1333-70 du Code de la Défense.

La masse de matières fissiles susceptible d'être contenue par colis est la suivante : 1g de ^{239}Pu , $1\text{E}-08$ g de ^{233}U et 0.2 g de ^{235}U . Les éléments fissiles les plus représentés sont le ^{239}Pu et l' ^{235}U .

8.3 CARACTERISTIQUES MECANQUES DU COLIS C1PG^{SP}

Les essais réalisés sur les colis C1PG^{SP} et qui permettent de justifier les caractéristiques mécaniques mentionnées ci-après sont présentés dans le programme de qualification du colis [24].

8.3.1 Taux de vide et porosité

Le taux de vide des colis MAVL est minimisé au regard du procédé de conditionnement retenu et des meilleures techniques disponibles. Ce procédé consiste à couler de manière gravitaire un coulis cimentaire dont la fluidité permet de remplir les vides entre les déchets, les vides entre le panier et le conteneur.

En complément, une vibration du panier (lors des opérations de blocage des déchets) ou de la coque (lors des opérations de calage du panier) peut être mise en œuvre afin de minimiser le risque d'emprisonner de l'air entre les déchets.

8.3.1.1 Estimation de la porosité totale d'un colis

Une estimation du volume total de porosité dans un colis de déchets MAVL représentatif constitué de crayons de DAE à raison de 3 étuis de 250 crayons longs découpés en tronçons a été réalisée sur la base des éléments suivants :

- Une porosité du béton du conteneur et du bouchon estimée à 10% à 90 jours (à 105°C). Considérant un taux de saturation du béton à 80% (on l'observe entre 80 et 90%), le volume de vide du béton est estimé à 1%,
- Une porosité dans le coulis cimentaire (de blocage des déchets en panier et de calage du panier dans le conteneur) estimée à 50% à 90 jours (à 105°C). Considérant le taux de saturation du coulis à 94%, le volume de vides du coulis est estimé à 1%,
- L'absence de vide apical grâce au procédé de fabrication du colis,
- Une porosité dans les déchets estimée à 0% dans le cas de crayons pleins et à 4 % dans le cas de crayons creux (exemple, crayons inox du palier 1300 MW avec cales creuses) en supposant de manière conservative que le coulis cimentaire bien que très fluide ne pénètre pas à l'intérieur des crayons creux.

En conséquence, l'estimation conservative de la porosité totale d'un colis varie entre 1 et 4% selon le caractère plein ou pas des déchets considérant, lorsqu'ils sont creux, que le coulis ne pénètre pas dans ces creux.

8.3.1.2 Taux de vides compressibles sous 12 MPa des colis

Le mode de fabrication des colis est rappelé ci-après :

- Opération de blocage des déchets dans le panier par la coulée d'un coulis cimentaire fluide : la fluidité du coulis garantit une bonne répartition à travers les déchets et un remplissage avec absence de vides en règle

générale. Les vides qui pourraient être occasionnés seraient liés ponctuellement à l'emprisonnement d'air dans des poches de volume faible selon la forme et la disposition des déchets dans le panier.

- Opération de calage du panier bloqué dans le conteneur : cette opération consiste à remplir avec le même coulis fluide le volume compris entre l'extérieur du panier et l'intérieur du conteneur jusqu'à recouvrir la totalité du panier de déchets. L'écoulement est prévu sur un côté de manière à permettre au coulis cimentaire de remplir l'anneau de vide en contournant le panier afin de pousser l'air sans risque d'en emprisonner.
- Opération de bouchage : la coulée du béton frais constituant le bouchon sur la surface du coulis ayant servi au calage du panier dans le conteneur élimine tout risque de vide apical sous le bouchon fermeture.

Compte tenu de ce mode opératoire de mise en œuvre, les résistances mécaniques en compression du coulis et du béton de fermeture (cf. § 4.6.2 et 5.2.2 de la Pièce 2 [24]) permettent de justifier l'absence de risque de vides compressibles sous 12 MPa.

8.3.1.3 Résultats d'essais

Le rapport des essais de découpe [12] démontre en images l'absence de vide à l'intérieur des colis.

La Pièce 2 du référentiel [24] ainsi que les références documentaires associées contiennent les données de résistance mécanique des matériaux cimentaires constituant les colis ainsi que les résultats d'essais de découpe sur des prototypes inactifs de colis à l'échelle 1.

8.3.2 Comportement à la chute.

L'empilement retenu étant pyramidal, la hauteur de chute d'un colis est équivalente à la hauteur d'un niveau d'empilement, soit 1,30 mètre.

Le colis C1PG^{SP} est qualifié pour une chute de hauteur égale à 1,40 mètres (tête vers le bas sur dalle indéformable) : les essais, réalisés avec une quantité d'acier pénalisante, à savoir 2,5 tonnes de déchets métalliques inactifs, concluent au maintien de l'intégrité de la liaison coque / bouchon et à la non-dispersion des déchets.

8.3.3 Résistance au gerbage

Sur ICEDA, les colis C1PG^{SP} sont gerbés sur 3 niveaux dans les halls d'entreposage : le mode d'empilement retenu est pyramidal en quinconce.

Le retour d'expérience de l'utilisation de colis C1PG pour les déchets FAMA-VC montre que le gerbage est possible. En effet, la mise en alvéole de stockage au CSA s'effectue sur 6 niveaux.

8.4 AUTRES CARACTERISTIQUES

8.4.1 Confinement

Le confinement des matières radioactives et des toxiques est assuré par la coque C1PG^{SP} et son bouchon en béton durable et confinant au sens des exigences du CSA. Ce confinement est garanti par :

- Les propriétés intrinsèques du béton vis-à-vis des exigences de l'Andra ;
- L'utilisation du même béton pour le conteneur et le bouchon ;



**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 57/84

- Une désactivation localisée du béton du conteneur à l'interface avec le bouchon permettant une bonne reprise de bétonnage à la coulée du bouchon et par conséquent une forte homogénéité du béton à cette interface.

La démonstration du caractère confinant de la coque C1PG^{SP} est détaillée dans le programme de qualification des colis [24][2].

8.4.2 Tenue au feu

Les colis contiennent des déchets essentiellement métalliques et sont immobilisés dans une matrice cimentaire. Ils présentent de fait une charge calorifique minimale.

8.4.3 Comportement thermique du colis

Le risque de réaction sulfatique interne (RSI) dans le coulis de ciment, lié à un potentiel d'échauffement à la prise et à la chaleur dégagée par les déchets eux-mêmes, est maîtrisé par :

- Le développement d'une formulation adaptée mettant en œuvre des matériaux dont les études ont montré :
 - Pour le ciment (ciment HTS du Teil), sa spécificité (chaleur d'hydratation limitée, bon comportement vis à vis de la RSI),
 - Pour les fumées de silice, leur efficacité dans la prévention de la réaction, dans les proportions employées
- Un procédé et des conditions de mise en œuvre adaptés pour la fabrication du colis : en phase de blocage, le procédé de fabrication du coulis et les conditions ambiantes permettent de garantir une température à cœur du coulis toujours inférieure à 75°C ;
- Un mode d'entreposage permettant de gérer le comportement thermique des colis :
 - La température en tout point du coulis de ciment sera, quelle que soit la répartition des déchets dans le colis, toujours inférieure à 65°C en fonctionnement normal ;
 - La température à cœur du même coulis est toujours inférieure à 75°C en cas de perte prolongée de la ventilation dans un hall.

La justification du respect de ces critères est détaillée dans le programme de qualification des colis [24].

9 MODALITES DE FABRICATION DES COLIS DE DECHETS

9.1 LOGISTIQUE DE REPARTITION DES DECHETS DANS LES COLIS

La logistique de répartition des déchets dans les colis est décrite ci-après.

9.1.1 Logistique de répartition des déchets arrivant sur ICEDA pré-conditionnés en paniers

Pour les déchets qui arrivent déjà pré-conditionnés en paniers, il n'y a pas d'ajout de déchet dans les paniers sur ICEDA : les déchets contenus dans un même panier sont originaires du même site.

Dans la mesure du possible, il n'y a pas de mélange de déchets de ratios d'activation différents.

9.1.2 Logistique de répartition des déchets arrivant sur ICEDA en étuis

Les déchets qui arrivent sur ICEDA en étuis sont découpés et conditionnés en paniers sur ICEDA.

Pour rappel, les trois principaux types de DAE actuellement concernés par un conditionnement sur ICEDA sont :

- les grappes fixes constituées de Crayons Bouchons et/ou de Crayons Poisons et d'une « tête » faisant office de dispositif de maintien ;
- Les grappes mobiles constituées de Crayons Absorbants (en AIC ou AIC+B4C), de Crayons Inox et d'une araignée de maintien ;
- Les Doigts de Gants RIC (DDG RIC) qui sont les tubes supports de l'instrumentation du cœur.

La logistique de répartition de ces déchets dans les colis est la suivante :

- Les DDG RIC, les crayons et les têtes de grappes sont conditionnés séparément ;
- Il est possible de conditionner un nombre non entier d'étuis dans un panier ;
- Dans la mesure du possible, les déchets de ratios d'activation différents ne sont pas conditionnés dans un même panier.

NB1 : le mélange d'un nombre non entier d'étuis dans un panier est possible car l'activité radiologique du panier est déterminée par une mesure par spectrométrie gamma sur le panier (et non par la somme des activités de chaque étui).

NB2 : certains étuis de DAE (notamment les plus anciens) peuvent contenir des déchets en mélange (mélange de déchets de composition différente et donc de ratios d'activation différents). De la même façon, la gestion des déchets induits sur ICEDA peut générer des colis avec des déchets en mélange (résidus de découpe par exemple). Dans ces cas, la caractérisation radiologique des colis avec déchets en mélange s'appuie sur l'utilisation des ratios d'activation et forfaits de contamination majorants parmi les ratios et forfaits des déchets en présence, appliqués à l'ensemble des dits déchets. Par ailleurs, les opérations de conditionnement, la nature et l'origine des déchets par panier sont tracées dans l'application informatique dédiée à ICEDA et dans le DQC (Dossier Qualité Colis).

9.2 PREPARATION ET TRI DES DECHETS

Le traitement des déchets à ICEDA est organisé en fonction des caractéristiques des déchets et de la catégorie des colis produits.

Pour des questions de caractérisation radiologique, aucun mélange de déchets de ratios/forfaits d'activation et de contamination différents n'est de manière générale envisagé dans un même panier. Entre autre :

- Les déchets issus des centrales en exploitation et les déchets issus des centrales en déconstruction ne sont pas mélangés ;
- Sauf cas exceptionnel lié par exemple à la réception d'un panier peu plein, les déchets de déconstruction d'origines différentes (i.e. de sites différents) ne sont pas mélangés dans un même colis.

Néanmoins, à titre exceptionnel et sous réserve de la mise en œuvre de dispositions permettant une caractérisation adéquate et une bonne traçabilité des déchets constitutifs des colis, des déchets d'origines différentes peuvent être mélangés (dans le cas particulier d'un panier arrivé presque vide par exemple). La



**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 59/84

déclaration radiologique d'un tel colis serait alors basée sur un ratio d'activation et un forfait de contamination enveloppe.

Le mélange des déchets est toujours effectué dans le respect des seuils-limites d'activité définis pour les colis de déchets (Cf. § 5.1.3).

Au regard de l'activité des déchets activés à conditionner et des opérations liées à leur conditionnement (déchargement, tri, découpe, ...), la fonction « préparation et tri des déchets » est entièrement télé-opérée et en grande partie automatisée.

Les équipements nécessaires à la préparation et au tri des déchets sont implantés dans la cellule de conditionnement.

Une fois déchargé de l'emballage de transport en cellule de conditionnement, le déchet élémentaire peut être transféré vers le poste de mesure du débit de dose implanté dans cette cellule (mesure par sondage), puis transféré soit dans les puits d'entreposage tampon (cas des étuis par exemple, râtelier permettant le stockage de 25 étuis et/ou déchets longs) soit vers la cellule de blocage (cas des paniers de déchets pré-conditionnés par exemple).

9.2.1 Poste de découpe des déchets

Le poste de découpe des déchets est constitué de 2 lignes distinctes :

- La ligne 1 : découpe des déchets par cisailage,
- La ligne 2 : découpe des étuis par sciage.

9.2.1.1 Ligne 1 : découpe des déchets

La ligne 1 permet la prise en charge d'un étui présenté par le pont de la cellule de conditionnement en position verticale puis son basculement en position horizontale. L'étui est alors transféré vers l'un des 2 dispositifs d'accueil (dispositif de basculement ou bac), ceci en fonction du type d'ouverture du couvercle de l'étui (ouverture latérale principalement pour les crayons ou ouverture frontale principalement pour les têtes de grappe et les doigts de gants RIC).

- Pour un étui avec couvercle latéral, l'étui est ouvert et son contenu vidé gravitairement dans un bac ; un grappin prend ensuite en charge l'étui vide et le transfère vers la ligne 2 du poste de découpe des étuis.

Les déchets dans le bac (crayons) sont saisis par une pince puis acheminés vers la cisaille. Les déchets sont découpés⁹ et les tronçons de crayons sectionnés tombent, par gravité, dans un panier de déchets. Les particules formées au cours du processus sont évacuées par un dispositif d'aspiration. L'opération est répétée jusqu'au traitement complet du contenu du bac. Après l'exécution des travaux de découpe, la table est prête à accueillir un nouvel étui rempli.

⁹ La découpe des crayons est réalisée par la préhension de fagots de crayons à l'aide d'une pince (14 crayons maximum par fagot). La longueur moyenne d'un tronçon de crayon découpé est de 10 cm. Liée notamment au basculement des crayons d'un étui sur la table de découpe et donc à un alignement longitudinal variable des crayons les uns par rapport aux autres dans un même fagot, la longueur des tronçons aux extrémités est variable : les essais montrent la présence de quelques crayons d'une longueur maximale de 26,5 cm et d'une longueur minimale de 3,5 cm.



**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 60/84

- Pour un étui avec couvercle frontal, l'étui est ouvert à l'aide d'une clé si l'ouverture peut s'effectuer mécaniquement ou par découpe de l'étui le cas échéant (cf. ligne 2), et le système de vibration du bac permet le vidage de l'étui. Les têtes TP qui en sortent sont dirigées dans le panier de déchets. Les doigts de gant RIC sont pour leur part extraits de l'étui selon le même procédé puis découpés et les tronçons sectionnés tombent, par gravité, dans un panier de déchets.

9.2.1.2 Ligne 2 : découpe des étuis

Après vidage, l'étui vide est déposé sur la table de la ligne 2. L'étui est poussé en position de découpe par l'unité d'avance, bridé et son extrémité découpée à la scie à ruban ; la partie de l'étui tronçonnée est ensuite déposée dans la presse et compactée. Le produit compacté est acheminé dans un panier de déchets (déchets FMA-vc).

Ces opérations sont répétées jusqu'au conditionnement de l'étui complet.

Dans le cas du coincement d'un déchet dans un étui ou de la non-ouverture d'un étui à la clé, ce dernier est acheminé vers la ligne 2 où il est ouvert horizontalement, sur toute sa longueur, avec la scie à ruban. L'étui retourne ensuite sur la ligne 1.

Les paniers sont ensuite transférés vers la cellule de blocage afin de poursuivre leur conditionnement.

9.2.2 Reconditionnement de paniers

Les paniers de déchets pré-conditionnés sur les sites en démantèlement n'ont pas vocation à être reconditionnés.

Néanmoins, et plus particulièrement pour les paniers conditionnés sur ICEDA, les matériels présents en cellule de conditionnement permettent de saisir et manutentionner¹⁰ les déchets découpés individuellement, notamment en cas de dépassement de la limite fixée par le domaine de fonctionnement.

9.3 CARACTERISATION RADIOLOGIQUE

Une fois le panier constitué en cellule de conditionnement et avant transfert en cellule de blocage, le panier est posé sur le chariot de transfert rotatif et fait l'objet d'une mesure directe par spectrométrie gamma. Cette mesure permet de vérifier que le panier respecte les valeurs limites définies par le domaine de fonctionnement de l'installation. Par le jeu des ratios, cette mesure permet d'établir l'inventaire radiologique de déclaration du colis dans lequel le panier sera disposé. Les caractéristiques physiques et radiologiques des déchets conditionnés dans un panier sont tracées via l'outil informatique dédié à ICEDA et rattaché au n° d'identification du panier et plus tard du conteneur associé.

Lors des mesures, le mouvement de rotation du panier est donné par le plateau tournant du chariot de transfert rotatif qui permet le transfert du panier entre la cellule de conditionnement et la cellule de blocage.

9.4 FABRICATION ET TRANSFERT EN CELLULE DU COULIS DE BLOCAGE

9.4.1 Fabrication du coulis de blocage

Le coulis cimentaire de blocage est fabriqué par une unité de préparation dédiée implantée dans un local conventionnel. Les saches contenant les produits secs sont également stockées dans un local conventionnel.

¹⁰ Dans la limite de capacité des moyens de manutention vis-à-vis de la masse et de la typologie des déchets.

A des fins de redondance, l'unité de préparation des coulis est scindée en deux lignes identiques, la 2nde ligne venant en remplacement de la ligne utilisée en cas d'arrêt (maintenance, dysfonctionnement) de cette dernière. Ces deux lignes ont en commun la trémie inférieure.

Chaque ligne est constituée des équipements principaux suivants :

- 2 trémies crève-saches destinées à recevoir pour l'une les saches pré-dosées de filler et pour l'autre les saches de mélange ciment + fumées de silice ; les trémies sont raccordées à un système de dépoussiérage à décolmatage automatique permettant de garantir la propreté des locaux et l'utilisation complète des saches ;
- un système de préparation des adjuvants liquides (dosés par pesage) ;
- un réservoir-tampon permettant la préparation et le mélange de l'eau de gâchage avec les adjuvants liquides ;
- un malaxeur qui reçoit les produits secs et le mélange du réservoir-tampon par déversement gravitaire ; le malaxeur assure l'homogénéité du mélange de tous les produits qu'il reçoit ;

Nota : L'emploi de fumées de silice dans le coulis permet d'obtenir les propriétés sur coulis frais recherchées notamment vis-à-vis du ressuage. Compte tenu de la granulométrie des fumées de silice, leur défloculation n'est jamais parfaite. La défloculation obtenue est néanmoins satisfaisante pour atteindre les propriétés sur coulis frais et durci : ouvrabilité, ressuage et résistance mécanique visés (cf. chapitre 5 de la Pièce 2 du Référentiel). Concernant ICEDA, le malaxeur à coulis équipant l'installation est doté d'une hélice de défloculage.

- une trémie inférieure recevant directement, par déversement gravitaire, le coulis du malaxeur en service ; la capacité utile de la trémie permet le remplissage d'un panier de déchets, même vide, avec 3 gâchées du malaxeur.

On rappelle que le coulis de blocage dispose d'une fluidité importante, quasi aqueuse. Le dispositif d'entretien prévoit un lavage systématique à l'eau en fin de poste. On entend par « poste » une opération continue de fabrication du coulis de blocage. Cette notion de "poste" est à relier à la durée pratique d'utilisation (DPU) du coulis soit un lavage/vidange des circuits après 4 heures depuis la vidange de la première gâchée de coulis en malaxeur.

9.4.2 Transfert du coulis

Le coulis de blocage des déchets fait l'objet de plusieurs gâchées successives déversées dans une cuve de maintien. Cette cuve est connectée à un échangeur de chaleur permettant de refroidir le coulis frais avant usage à une température inférieure à 10°C. Le contrôle de ce critère est matérialisé par une sonde de température à l'aval de laquelle l'alimentation en coulis de deux circuits de distribution est prévue à des fins de redondance. Le temps initial marquant le décompte de la DPU correspond à l'instant où la première gâchée est vidangée dans la cuve de maintien.

Lorsque la cuve est pleine et le coulis à moins de 10°C, après contrôle d'une température d'air à l'extraction du local de blocage des déchets garantissant une température ambiante inférieure ou égale à 30°C, enfin après contrôle que l'opération à lancer est bien inscrite dans la DPU du coulis, l'opérateur via le procédé autorise l'accès du coulis dans la cellule de blocage des déchets en panier.

Le coulis de blocage est alors transféré jusqu'au panier à bloquer par un des deux circuits de distribution dédiés.

L'un des circuits est employé en utilisation normale, le second reste en secours en cas de dysfonctionnement du premier, assurant ainsi le transfert du coulis vers la cellule de blocage des paniers.

Ces circuits sont fermés et ne pénètrent pas dans la cellule, cette dernière étant desservie par une dérivation traversant la paroi de la cellule de blocage.

9.5 BLOCAGE DES DECHETS

Le panier constitué et mesuré d'un point de vue radiologique en cellule de conditionnement est acheminé dans la cellule de blocage.

Le poste de blocage est constitué d'un bac en acier inoxydable permettant de récupérer au plus près les éventuelles fuites ou projections de coulis. Le bas est équipé de 5 tables vibrantes sur lesquelles sont déposés les paniers. Une fois le poste de blocage rempli, c'est-à-dire "chargé" de 5 paniers au maximum, une campagne de blocage est initiée. Le coulis est acheminé dans la cellule de blocage par pompage pour être coulé gravitairement dans chaque panier ; le panier est couvert par un dispositif sur lequel un tuyau souple, dérivé de la boucle de distribution du coulis, est raccordé. Ce dispositif limite les projections de coulis.

Pendant ou en fin de remplissage, la table vibrante sur laquelle est posé le panier peut être mise en service si besoin.

En fonctionnement normal, la fin de remplissage est gérée à l'aide d'une mesure de capacité électrique de l'air entre la sonde capacitive et la surface du coulis frais.

Suite au blocage, les paniers sont laissés sur leur support et y restent pendant 48 heures minimum avant de pouvoir être repris ; la durée de 48 heures correspond à la phase de prise du coulis. Elle ne s'accompagne pas d'une cure à l'eau des paniers.

Nota : la durée d'attente de 48 heures pour la prise du coulis est justifiée par les données d'essais de résistance en compression obtenues à diverses échéances. Cette durée intègre une marge significative.

9.6 EVACUATION DES PANIERS VERS LA CELLULE DE CALAGE/BOUCHAGE : CAISSON DE NETTOYAGE ET DE CONTROLE DU PANIER BLOQUE

9.6.1 Cinématique

Une fois la prise du coulis de blocage effectuée, les paniers sont transférés individuellement vers la cellule de calage / bouchage. Le passage entre la cellule de blocage et la cellule de calage/bouchage se fait via un caisson aménagé entre les 2 cellules.

Le pont de la cellule de blocage prend en charge un panier et le dépose dans une zone de lavage aménagée dans un caisson au travers d'une trémie dans le plafond de ladite zone. Cette trémie est équipée d'une trappe qui est escamoté lors de la dépose du panier dans le caisson puis remis en place.

Le lavage du panier à l'eau permet d'éliminer toute trace de contamination surfacique sur ce dernier. Après lavage et séchage, le sas séparant la zone de lavage de la zone de contrôle du caisson est ouvert, le chariot de transfert entre la cellule de blocage et la cellule de calage/bouchage prend en charge le panier et l'achemine au niveau de la zone de contrôle aménagée dans le caisson.

Il est alors procédé au contrôle de non-contamination du panier au titre de la DI104 « Zonage propreté / déchets ». Ces contrôles habituels sont réalisés par chiffonnette, sur 100% de la surface du panier, dessous et surface de

coulis de blocage compris, l'opérateur ayant une vision dans le caisson par un hublot, disposant de télémanipulateurs et d'un sas de récupération des chiffonnettes lui permettant de disposer de ces dernières. La rotation du panier sur son axe est assurée par le chariot de transfert sur lequel il est posé.

Après confirmation de l'absence de contamination surfacique ($<0,4 \text{ Bq/cm}^2$ en $\beta\gamma$ et $<0,04 \text{ Bq/cm}^2$ en α), le panier est transféré par chariot dans la cellule de calage/bouchage afin qu'il puisse être repris par le pont de ladite cellule.

9.6.2 Gestion des effluents de lavage

L'opération de lavage des paniers se déroule en local N. Les effluents générés par ce lavage sont en conséquence des effluents radioactifs. Ces effluents classés faiblement actifs sont collectés dans une bêche dédiée. Un échantillonnage pour analyse permet de confirmer ce classement. Le traitement de ces effluents sera réalisé in fine par incinération dans l'usine CENTRACO de la filiale SOCODEI d'EDF.

9.7 FABRICATION ET TRANSFERT EN CELLULE DU COULIS DE CALAGE

9.7.1 Fabrication du coulis de calage par l'unité de préparation des coulis

La fabrication du coulis de calage est réalisée par l'unité de préparation des coulis (voir § 9.4.1). La formulation du coulis de calage est en effet identique à celle du coulis de blocage.

9.7.2 Transfert du coulis

Le coulis de calage des paniers de déchets fait l'objet d'une seule gâchée par calage. Cette gâchée est déversée du malaxeur dans une benne de transfert. Le temps initial marquant le décompte de la DPU correspond à l'instant où la gâchée est vidangée dans la benne.

Une pesée de la benne est opérée et la masse de coulis est adaptée pour répondre au volume calculé strictement nécessaire au calage.

La benne montée sur une structure permettant une manutention par un transpalette transite ensuite dans l'installation, notamment par le biais d'un monte charges, pour parvenir dans la super-cellule de la cellule de calage/bouchage. Le pont de manutention de cette super-cellule permet la descente de la benne dans le local de bouchage des colis.

La benne posée au sol est reprise par le pont du local pour être positionnée au-dessus du colis correspondant.

Sous réserve du respect de la DPU, l'ordre est donné pour effectuer la vidange totale de la benne par coulée gravitaire dans le colis.

Suite à sa vidange en cellule, la benne mobile est réacheminée vers l'unité de préparation du coulis en suivant la cinématique inverse.

9.8 CALAGE

Une fois le panier en cellule de calage/bouchage, il est repris puis transféré dans une coque C1PG^{SP} préalablement acheminée dans la cellule et positionnée en attente sur l'une des cinq tables vibrantes du poste de calage.

Une fois le poste de calage occupé au maximum de cinq « coques + paniers », une campagne de calage est initiée. Il n'est pas toutefois indispensable d'avoir cinq colis pour initier une campagne de calage.

La coulée gravitaire du coulis est réalisée par vidange de la cuve mobile accouplée à un dispositif déposé sur la coque au préalable. Ce dispositif limite les projections de coulis.

Pendant ou en fin de remplissage de la coque, la table vibrante sur laquelle elle est posée peut être mise en service. Suite au calage, les colis sont laissés sur leur support et y restent pendant 48 heures minimum avant de pouvoir être repris ; la durée de 48 heures correspond à la phase de prise du coulis et s'accompagne nécessairement d'une cure à l'eau du calage des paniers de la même durée.

Cette cure est maintenue jusqu'à la confection du bouchon, soit en exploitation nominale sur une durée de 48 heures minimum ou au plus durant sept jours en cas de bouchage plus tardif du colis. Les modalités de mise en place et de maintien de cette cure sont telles que :

- La mise en place de l'eau évitera de creuser le coulis frais par un déversement trop brusque,
- Verser l'eau dès que la surface du coulis devient terne (« virage au mat »). Les essais inactifs permettront dans la mesure du possible de fixer un critère de durée d'attente avant d'effectuer cette cure.

Nota : le volume disponible avant la coulée du bouchon permet la mise en place d'une quantité d'eau suffisante pour assurer une présence d'eau permanente. Cette présence d'eau n'est pas liée à un paramètre garanti puisque le coulis de calage ne porte pas de fonction de confinement.

9.9 FABRICATION ET TRANSFERT EN CELLULE DU BETON DE BOUCHAGE

9.9.1 Fabrication du béton de bouchage par l'unité de préparation dédiée

La fabrication du béton de bouchage est réalisée par l'unité de préparation du béton équipée d'un malaxeur à béton à train valseur. La formulation du béton de bouchage, développée par EDF, est identique à celle du béton utilisé pour la fabrication de la coque C1PG^{SP}.

9.9.2 Transfert du béton

Une gâchée unique est nécessaire pour le bouchage d'un colis.

Le temps initial marquant le décompte de la DPU correspond à l'instant où la gâchée est jugée conforme par l'opérateur à l'aide du test d'affaissement au cône d'Abrams soit avant la vidange du malaxeur dans la benne de transport (cf. § 4.6.1.1 de la Pièce 2).

La quantité de béton strictement nécessaire à ce bouchage est disposée dans une benne de transport mobile par le biais d'une pesée. Cette quantité est déterminée par calcul à partir de la mesure du niveau du coulis de calage du panier dans le conteneur :

- chaque colis fait l'objet, avant coulée du béton frais du bouchon, d'une mesure en trois points de la hauteur entre la surface du coulis de calage et la surface haute des voiles du conteneur. Cette mesure est réalisée en télé-opéré en cellule chaude à l'aide d'un outil développé pour ce besoin.
- cette hauteur permet un calcul précis du volume de béton qui doit être coulé pour garantir l'épaisseur minimum de béton vis-à-vis des propriétés de confinement de l'enveloppe externe du colis mais aussi pour garantir le retrait nécessaire entre la surface du bouchon et celle des voiles. Ce retrait permet la cure à l'eau et plus tard, en situation de gerbage en entreposage, l'absence d'effort mécanique sur le bouchon par le colis supérieur.

La benne de transport montée sur une structure permettant une manutention par un transpalette transite ensuite dans l'installation, notamment par le biais d'un monte charges, pour parvenir dans la super-cellule de la cellule de calage/bouchage. Le pont de manutention de cette super-cellule permet la descente de la benne dans le local de bouchage des colis.

La benne posée au sol est reprise par le pont de ce dernier local pour être positionnée au-dessus du colis correspondant.

9.10 BOUCHAGE DES COLIS

Une fois la prise du coulis de calage effectuée, les colis sont transférés individuellement, par le pont roulant de la cellule, vers le poste de bouchage.

Le poste de bouchage est constitué d'un bac en acier inoxydable permettant de récupérer au plus près les éventuelles fuites ou projection de béton.

Une fois le poste de bouchage occupé de 5 colis au maximum, une campagne de bouchage est initiée. Il n'est pas toutefois pas indispensable d'avoir cinq colis pour initier une campagne de bouchage.

L'absence d'eau résiduelle sur la surface du coulis de calage est vérifiée préalablement.

La benne mobile est accouplée à un dispositif déposé de manière centrée sur la coque au préalable. Ce dispositif limite les projections de béton.

Sous réserve du respect de la DPU, l'ordre est donné pour effectuer la vidange totale de la benne par coulée gravitaire sur le colis.

A l'issue de la vidange de la benne de transport conduisant à la coulée du béton sur le colis, les aiguilles vibrantes plongeant dans le béton et intégrées au dispositif d'accostage de la cuve sont mises en service. La vibration permet d'augmenter la compacité du béton en éliminant au maximum l'air occlus.

Remarque : des recherches sont en cours sur le développement d'un béton de même nature mais auto-plaçant ne nécessitant plus de la vibration par aiguilles ou peignes plongeant. Un tel béton pourrait à terme être utilisé pour le bouchage des colis.

Une heure maximum après achèvement de la coulée du béton (et selon un critère de « virage au mat du béton »), le bouchon est recouvert d'une épaisseur d'eau de cure et le colis est laissé en position pour une cure à l'eau de sept jours avant son transfert vers le hall d'entreposage. Les modalités de mise en place et de maintien de cette cure sont telles que :

- La mise en place de l'eau évitera de creuser le béton frais par un déversement trop brusque,
- Verser l'eau dès que la surface du béton devient terne (« virage au mat »). Les essais inactifs permettront dans la mesure du possible de justifier le critère d'une heure maximum d'attente avant d'effectuer cette cure,

Nota : Le virage au mat constitue un contrôle visuel suffisant. En effet, à ce stade, la surface du béton présente à l'œil une peau alors que le béton ne présente pas encore de résistance mécanique.

- La disposition d'un couvercle sur le colis après versement de l'eau de cure limitera l'évaporation.

La durée de prise et de cure de 7 jours pour le béton de bouchage est justifiée par les données d'essais de résistance en compression obtenues depuis des décennies ainsi que par les modalités de mise en œuvre du

béton validées par l'Andra dans le cadre du descriptif de procédé de bouchage des colis C1PG sur les CNPE pour les déchets FMA-vc.

9.11 CONTROLES DU COLIS FINI

A l'issue des sept jours de cure à l'eau du bouchon, le colis est repris et fait l'objet d'un contrôle visuel (à travers un hublot et à l'aide de caméras) et est déposé sur le convoyeur à rouleau desservant la cellule de mesure.

Le colis fait alors l'objet d'une mesure de débit de dose et de contrôles de non-contamination par chiffonnette. Les chiffonnettes, réalisés en utilisant les télémanipulateurs attenants au hublot de la cellule, sont acheminés depuis l'intérieur de la cellule jusqu'au couloir attenant à la cellule grâce à un sas (blindé) de récupération des chiffonnettes.

9.12 GESTION DES EAUX RESIDUELLES DE CURE DU CALAGE ET DU BOUCHAGE

Les opérations de calage et de bouchage font l'objet d'une cure à l'eau en local K. Les effluents générés par l'aspiration de l'eau de cure en excès sont des effluents conventionnels. L'eau aspirée est gérée dans un bac en cellule de calage/bouchage. Lorsque le bac est plein et l'eau décantée, un échantillonnage pour analyse permet de vérifier le caractère conventionnel de cette eau. Un ajustement du pH est opéré avant évacuation.

10 GESTION DES COLIS EN PHASE ENTREPOSAGE

Ce paragraphe présente la gestion des colis MAVL en phase entreposage et justifie la conformité des caractéristiques attendues de ces colis avec les spécifications d'acceptation mentionnées à l'article 8.4.2 de l'arrêté INB [1] pour l'entreposage auquel ils sont destinés.

L'installation ICEDA dispose de deux halls d'entreposage d'environ 1300 m² chacun au sol, environ 15000 m³, fermés de murs latéraux et d'une dalle de toit de 1,2 m d'épaisseur, d'une dalle de sol de 1,5 m d'épaisseur.

Chaque hall est équipé d'une cellule arrière protégée par une porte blindée permettant notamment l'intervention humaine sur le pont lorsque nécessaire.

Chaque hall dispose :

- D'une zone principale dédiée à l'empilement de plus de 1000 colis C1PG^{SP}, sur trois niveaux, selon un arrangement en quinconce et pyramidal.
- En périphérie intérieure, de structures métalliques délimitant la zone d'entreposage et empêchant l'accès d'un colis dans la zone « morte » du pont (sous corbeau).
- D'une zone tampon de 10 emplacements de colis au sol permettant notamment le désempliment de colis,
- D'une zone pour colis « témoins » disposant de 15 emplacements au sol,
- D'une zone de sur-emballages métalliques de colis non conformes de 10 emplacements au sol,
- D'un pont de manutention des colis relié à la salle de supervision de l'installation et commandé à distance pour un positionnement en (x,y,z) de chaque colis dans l'empilement. Des caméras de visualisation sont positionnées sur le pont pour ces opérations de manutention télé-opérées.
- D'une gaine de ventilation de 35 mètres de long centrée en largeur au plafond et courant sur la longueur du hall. L'air est soufflé verticalement vers le bas et circule à travers l'empilement des colis.

- D'une bouche d'extraction. Le taux de renouvellement de l'air dans les halls est proche de 1 h⁻¹.

10.1 DUREE D'ENTREPOSAGE DES COLIS MAVL SUR ICEDA

La durée d'entreposage des colis MAVL sur ICEDA dépend de la date de mise en service et des chroniques de réception de l'exutoire CIGEO : le prévisionnel de livraison des colis vers CIGEO est décliné dans le PIGD indice E.

Au regard des données actuellement disponibles, la durée d'entreposage des colis à ICEDA ne devrait pas excéder 50 ans, même si ce point reste à conforter notamment en fonction des paramètres indiqués ci-dessous :

- La conception du colis et sa robustesse montrent que celui-ci n'est pas l'élément limitant concernant sa durée d'entreposage à ICEDA,
- La durée de vie prévisionnelle de l'installation reste soumise, conformément à la réglementation des INB, à des réexamens périodiques décennaux dont les résultats serviront de base à l'Autorité de Sûreté Nucléaire pour autoriser ou non la poursuite de l'exploitation de l'installation.
- Si nécessaire, chaque colis produit sur ICEDA devra observer un temps d'entreposage avant envoi à CIGEO lui permettant de respecter les spécifications d'acceptation de CIGEO, en particulier le critère de puissance thermique par colis et celui du débit d'hydrogène de radiolyse annuel.

10.2 SPECIFICATIONS D'ACCEPTATION POUR L'ENTREPOSAGE DES COLIS SUR ICEDA

L'entreposage des colis sur ICEDA est régi par des spécifications radiologiques et thermiques (cf. [26]).

10.2.1 Limites radiologiques

Les limites radiologiques sont les suivantes :

Radioélément	Inventaire total (TBq)	Inventaire pour chaque hall (TBq)
H3	300 000	150 000
C14	5 000	2 500
Emetteurs α	250	125
β et γ forts	600 000	300 000
β et γ faibles	1 400 000	700 000

Limites radiologiques pour les halls d'entreposage

10.2.2 Limite de puissance thermique totale en hall d'entreposage

Dans l'hypothèse d'une démonstration du maintien des propriétés de confinement des colis durant toute leur période d'entreposage sur ICEDA, la puissance thermique cumulée des colis entreposés dans chaque hall plein est inférieure ou égale à 80 kW : cette valeur de puissance est estimée en considérant un critère de puissance thermique de 50 W par colis à réception à CIGEO qui, s'il devait être retenu à une valeur plus haute in fine par l'Andra dans les spécifications d'acceptation CIGEO, pourra réduire la puissance totale par hall plein et favoriser le comportement thermique en diminuant la température à cœur des colis en phase d'entreposage.



**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 68/84

Néanmoins, à ce niveau de puissance par hall, EDF doit consolider son évaluation de l'impact du séchage sur le comportement mécanique des colis en entreposage du fait d'une condition hydrique estimée autour de 30 à 35%HR. Les phénomènes de séchage peuvent induire un risque de fissuration par retrait/dessiccation du béton (coque + bouchon) constituant l'enveloppe confinante du colis.

Dans l'attente des résultats d'une thèse lancée en 2017 sur l'évaluation de ce risque à ce niveau d'humidité relative de l'air dans les halls, EDF propose de réduire la limite de puissance thermique par hall afin de garantir un taux d'humidité relative par hall d'au moins 50% et maîtriser ainsi le risque précité (cf. Chapitre 6 de la Pièce 2).

10.3 TRACABILITE DES COLIS ET RESPECT DES SPECIFICATIONS D'ENTREPOSAGE

La traçabilité des colis sur ICEDA est assurée par l'outil informatique dédié à ICEDA qui permet de centraliser et d'archiver l'ensemble des informations relatives aux colis produits :

- L'identification des déchets en provenance des sites producteurs (ces informations étant transmises par l'application informatique DRA) ;
- L'identification des matériels et équipements intégrés au procédé (coques béton, paniers, étuis, emballages de transport) ;
- Les paramètres et autres mesures effectuées lors des étapes de caractérisation, de conditionnement et de contrôles de conformité ;
- Les paramètres du procédé (date de blocage, calage, bouchage, références des saches, ...) ;

Les mouvements de chaque colis sont renseignés par l'exploitant dans cet outil qui permet de :

- Tracer les mouvements de chaque colis, lors du conditionnement et de l'entreposage, et localiser un colis de déchets dans un des halls d'entreposage ;
- Calculer l'activité radiologique de chaque colis en tenant compte de la décroissance radioactive et sommer l'activité des colis afin de connaître à chaque instant l'inventaire radiologique et physique des halls et garantir ainsi le respect des limites radiologiques totale et par hall d'entreposage ;
- Calculer la puissance thermique de chaque colis et des halls et garantir ainsi le respect des limites de puissance thermique par hall d'entreposage ;

10.4 SURVEILLANCE

Dans les halls d'entreposage, les colis sont empilés sur 3 niveaux selon un motif pyramidal à base triangulaire. Cet empilement pyramidal permet d'accéder à n'importe quel colis de l'empilement en limitant le nombre de colis à déplacer à 10 pour atteindre ce colis. Il permet donc une reprise des colis à tout moment.

Durant la phase d'entreposage, des colis témoins sont choisis essentiellement en fonction de leurs caractéristiques enveloppes (solllicitations thermiques et mécaniques cf. [25]). Ils sont entreposés sur une aire spécifique prévue dans chaque hall d'entreposage ou dans la pyramide d'entreposage afin d'être représentatifs des solllicitations mécaniques et thermiques générées par l'empilement des autres colis.

Ils font l'objet de contrôles périodiques (cf. [25]) afin de surveiller leur évolution durant la phase entreposage et leur durabilité dans le temps.

Les colis non conformes (hors colis non conformes disposés en suremballage) pour lesquels des fissurations ont pu être observées font également l'objet d'une surveillance particulière et périodique (cf. [25]).

10.5 ANALYSE DU COMPORTEMENT DU COLIS DURANT LA PHASE D'ENTREPOSAGE PREALABLE A LEUR STOCKAGE

La description et la justification de l'évolution du colis (primaire au sens du CIGEO) dans le temps, notamment ses caractéristiques mécaniques en lien avec les éventuels phénomènes d'altération physico-chimiques, sont présentées dans le programme de qualification du colis [24].

11 PARAMETRES IMPORTANTS DU PROCEDE DE CONDITIONNEMENT ET DE L'ENTREPOSAGE GARANTISSANT LA QUALITE DE FABRICATION ET LA CONFORMITE DES COLIS C1PG^{SP}

Le présent paragraphe identifie les paramètres importants du procédé de conditionnement et de l'entreposage des colis C1PG^{SP} MAVL qui permettent de garantir leur conformité. Ces paramètres, appelés « paramètres garantis », sont identifiés distingués des paramètres « complémentaires » donnés à titre d'information :

- A chaque étape du processus de fabrication des colis ;
- Pendant la phase entreposage ;
- A l'expédition des colis.

L'ensemble des paramètres garantis permet de garantir la conformité des colis produits vis-à-vis du caractère confinant et de l'acceptation à CIGEO (à la connaissance à ce stade des exigences de l'Andra pour ce centre de stockage à l'étude).

Les actions de contrôles relatives à chacun de ces paramètres sont présentées dans le plan de contrôle du procédé et des colis [25].

11.1 PARAMETRES GARANTIS ET COMPLEMENTAIRES A LA PRODUCTION

11.1.1 Paramètres relatifs aux approvisionnements

PARAMETRES	garanti / complémentaire	DOMAINE DE VALIDITE
Conformité des conteneurs : coques C1PG ^{SP}	garanti	Conformes au Cahier des Spécifications et des Conditions Techniques (CSCT [32]) : caractéristiques du matériau, caractéristiques dimensionnelles, ...
Conformité des paniers MAVL	complémentaire	Conformes au CSCT[33]
Conformité des charges sèches : - coulis cimentaire (blocage et calage) - béton du bouchon	garanti garanti	Conformes au CSCT ([30], [31]) : nature et caractéristiques des constituants, dosages, ... Respect des formulations Respect des dates de péremption
Conformité des adjuvants	garanti	Conformes au dossier de suivi qualité

PARAMETRES	garanti / complémentaire	DOMAINE DE VALIDITE
		délivré par le Fournisseur (fiche technique, date de péremption, ...)
Qualité de l'eau de gâchage	garanti	Eau de gâchage issue du circuit d'eau potable ou d'eau déminéralisée ou conforme à la norme NF EN 1008

11.1.2 Paramètres garantis relatifs aux déchets

PARAMETRES	Domaine de validité
Déchets autorisés avec restriction	Cf. paragraphe 5.2.2
Déchets interdits	Cf. paragraphe 5.2.3
Masse de déchets par panier	400 kg < Masse de déchets par panier < 2500 kg
Activité radiologique max / panier	Cf. paragraphe 5.1.3

11.1.3 Paramètres relatifs au procédé

11.1.3.1 Procédure de blocage des déchets

PARAMETRES	garanti / complémentaire	DOMAINE DE VALIDITE
<u>Charges de blocage :</u> - Introduction des composants et cycle de malaxage - Respect de la formulation (eau et adjuvants)	complémentaires (la conformité du coulis est garantie par le respect du critère de fluidité et son utilisation dans le temps de la DPU)	Conforme au domaine de validité du coulis cimentaire développé par EDF
- Contrôle fluidité au cône de Marsh selon la norme NF EN 445 - Respect de la DPU (*)	garanti garanti	Fluidité < 40 sec. avec ajutage de 10 mm pour un coulis dont la température est comprise entre 5 et 30°C. DPU de 4 heures
Température à cœur dans le panier : maîtrise du risque de Réaction Sulfatique Interne (RSI)	Complémentaire (car non mesurable)	<75°C
Avant déversement en panier : - Température du coulis frais - Température d'air à l'extraction du local de	garanti garanti	< 10°C 5°C ≤ T ≤ 30°C a minima La valeur haute de 30°C pourra être

PARAMETRES	garanti / complémentaire	DOMAINE DE VALIDITE
blocage		précisée suite aux essais afin d'assurer une température d'air ambiant de 30°C maximum.
Durée de séchage	garanti	48h minimum
Prise à 2 jours	garanti	Selon un mode opératoire adapté de la norme EN 196-3, l'opérateur contrôle sur éprouvette, une fois par campagne que le coulis a fait prise à deux jours
Résistance à la compression à 91 jours	garanti	> 20 MPa

(*) La Durée Pratique d'Utilisation (DPU) est la durée suivant la fin de fabrication de la gâchée pendant laquelle le coulis frais conserve une ouvrabilité satisfaisante permettant son utilisation. Dans le procédé de blocage de l'installation ICEDA, le coulis de blocage des déchets fait l'objet de plusieurs gâchées déversées dans une cuve de maintien permettant par connexion avec un échangeur de chaleur de maintenir la température du coulis frais avant usage inférieure à 10°C. Aussi, le to de décompte de la DPU correspond au moment de la vidange de la première gâchée en cuve de maintien. Le « t » de fin est égal à to+DPU.

11.1.3.2 Procédure de calage des paniers

PARAMETRES	garanti / complémentaire	DOMAINE DE VALIDITE
Contrôle avant calage	complémentaire	Absence d'eau libre
<u>Charges de calage :</u> <ul style="list-style-type: none"> - Introduction des composants et cycle de malaxage - Respect de la formulation (eau et adjuvants) 	complémentaires (la conformité du coulis est garantie par le respect du critère de fluidité et son utilisation dans le temps de la DPU)	Conforme au domaine de validité du coulis cimentaire développé par EDF
<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle fluidité au cône de Marsh selon la norme NF EN 445 - - Respect de la DPU 	garanti garanti	Fluidité < 40 sec. avec ajutage de 10 mm pour un coulis dont la température est comprise entre 5 et 30°C. DPU de 4 heures
Température de l'air à l'extraction du local de calage	garanti	5°C ≤ T ≤ 40°C
Durée de séchage / cure	garanti (séchage) complémentaire (cure)	48h minimum
<u>Nota</u> : le contrôle d'une présence d'eau de cure sur le coulis de calage ne constitue pas un paramètre garanti		

PARAMETRES	garanti / complémentaire	DOMAINE DE VALIDITE
étant donné que le coulis de calage ne porte pas de fonction de confinement.		
Prise à 2 jours	garanti	Selon un mode opératoire adapté de la norme EN 196-3, l'opérateur contrôle sur éprouvette, une fois par campagne que le coulis a fait prise à deux jours

11.1.3.3 Procédure de bouchage des coques

PARAMETRES	garanti / complémentaire	DOMAINE DE VALIDITE
<u>Contrôle avant bouchage :</u> <ul style="list-style-type: none"> - Hauteur libre avant bouchage - Eau libre 	garanti	≥ épaisseur minimale du bouchon (13 cm, cf. [24])
<u>Charges de bouchage :</u> <ul style="list-style-type: none"> - Introduction des composants et cycle de malaxage - Respect de la formulation (eau et adjuvants) 	complémentaires (la conformité du béton est garantie par le respect du critère d'affaissement et son utilisation dans le temps de la DPU)	Conforme au domaine de validité du béton BHP développé par EDF
<ul style="list-style-type: none"> - Contrôle ouvrabilité au cône d'Abrams (test d'affaissement selon NF EN 12350-2) - Respect de la DPU 	garanti	Affaissement entre 210 et 240 mm pour un béton dont la température est comprise entre 5 et 30°C.
<ul style="list-style-type: none"> - Respect de la DPU 	garanti	DPU de 2 heures avec affaissement à 2 heures entre 190 et 240 mm pour un béton dont la température est comprise entre 5 et 30°C.
Humidification de l'interface bouchon/conteneur	garanti	La surface de béton désactivée située au niveau de la tête du conteneur doit être humidifiée avant la coulée du béton.
Vibration	garanti	Immédiatement après la coulée du béton à l'aide des dispositifs de vibration automatisée (sauf en cas d'utilisation d'un béton auto-plaçant)

PARAMETRES	garanti / complémentaire	DOMAINE DE VALIDITE
Température de l'air à l'extraction du local de bouchage	garanti	$5^{\circ}\text{C} \leq T \leq 40^{\circ}\text{C}$
Contrôle de fin de fabrication	garanti	Absence de surépaisseur de béton provenant du bouchage au niveau du bouchon et/ou des parois latérales du colis Retrait vertical au-dessus du bouchon pour permettre la cure à l'eau (5 à 20 mm)
Immobilisation du colis pour séchage et cure	garanti	7 jours minimum
Contrôle de la présence d'eau de cure sur le bouchon	garanti	7 jours minimum
Résistance à la compression à 28 jours	garanti	Le critère à respecter est > 50 MPa. La mesure est réalisée une fois par campagne.
Retrait à 28 jours	garanti	Le critère à respecter est < 400 $\mu\text{m}/\text{m}$ sur éprouvettes. La mesure est réalisée une fois par mois.

11.2 PARAMETRES GARANTIS RELATIFS AU COLIS FINI

PARAMETRES	DOMAINE DE VALIDITE
Intégrité du colis	<p>Absence de défauts tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nid d'agrégats (cailloux, sable, fibres) • Ferrailage apparent, • Fissuration ou faïençage de la coque, du bouchon ou à l'interface coque-bouchon (fissure de retrait) dans les limites définies ci-dessous : <ul style="list-style-type: none"> - Ouverture $< 0,3$ mm - Longueur de fissure < 200 mm (ce critère ne concerne pas les fissures de retrait circonférentielles sur le bouchon) - Espace minimal entre fissures > 300 mm. • Eclat/épaufrure/trou, ragréage, surface sableuse, manque de béton dans les limites définies ci-dessous : <ul style="list-style-type: none"> - Profondeur < 10 mm sur toute la surface du défaut, - Défaut entièrement contenu dans la surface délimitée par un cache transparent carré de 100×100 mm ou rectangle de 50×200 mm

PARAMETRES	DOMAINE DE VALIDITE
Contamination surfacique non fixée	< 0,4 Bq/cm ² en bêta gamma et < 0,04 Bq/cm ² en alphas au titre du zonage déchets d'ICEDA
Masse du colis	≤ 6400 kg
Puissance thermique	≤ 170 W

11.3 PARAMETRES GARANTIS ET COMPLEMENTAIRES A L'ENTREPOSAGE

PARAMETRES	garanti / complémentaire	DOMAINE DE VALIDITE
Puissance thermique par hall d'entreposage	complémentaire	≤ 80 kW à terme. Seuil mentionné au chapitre 6 de la Pièce 2 en phase transitoire.
Critères de température en hall d'entreposage : T° en tout point du colis : - En fonctionnement normal - En cas de perte prolongée de ventilation	complémentaires	< 65°C < 75°C
- Température de l'air à l'extraction du hall	garanti	Les modalités de suivi de cette température ainsi que le critère à respecter sont en cours de définition sur la base de la mesure de cette température dans la gaine d'extraction du hall et tenant compte de l'inertie thermique des colis et du génie civil.

11.4 PARAMETRES GARANTIS ET COMPLEMENTAIRES A L'EXPEDITION

PARAMETRES	garanti / complémentaire	DOMAINE DE VALIDITE
Colis et interface de préhension	garantis	Intégrité du conteneur (coque et bouchon). Absence de défauts tels que : <ul style="list-style-type: none"> • Nid d'agrégats (cailloux, sable, fibres) • Ferrailage apparent, • Fissuration ou faïençage de la coque, du bouchon ou à l'interface coque-bouchon (fissure de retrait) dans les limites définies ci-dessous : <ul style="list-style-type: none"> - Ouverture < 0,3 mm - Longueur de fissure < 200 mm (ce critère ne concerne pas les fissures de retrait circonférentielles sur le bouchon)

PARAMETRES	garanti / complémentaire	DOMAINE DE VALIDITE
		<ul style="list-style-type: none"> - Espace minimal entre fissures > 300 mm. • Eclat/épaufrure/trou, ragréage, surface sableuse, manque de béton dans les limites définies ci-dessous : <ul style="list-style-type: none"> - Profondeur < 10 mm sur toute la surface du défaut, - Défaut entièrement contenu dans la surface délimitée par un cache transparent carré de 100 mm x 100 mm ou rectangle de 50 mm x 200 mm <p>Intégrité de l'interface de préhension permettant de réaliser les opérations de manutention dans de bonnes conditions</p>
Contamination surfacique non fixée	garanti	< 4 Bq/cm ² en bêta gamma et < 0,4 Bq/cm ² en alphas au titre des spécifications préliminaires d'acceptation des colis à CIGEO
Masse	complémentaire	≤ 6400 kg
Débit de dose maximal au contact et à 1 mètre	garanti	Critères non définis à ce stade par l'Andra mais attendus dans le cadre du Dossier d'Autorisation de Création de CIGEO
Puissance thermique	garanti	Critère non défini à ce stade par l'Andra (*)
Dégagement annuel maximum de H ₂ de chaque colis primaire	garanti	Débit d'hydrogène ≤ 40L(H ₂)/an

(*) : ce critère reste à définir par l'Andra. Dans l'attente, EDF considère la valeur de 50W comme valeur cible minimale admissible par l'Andra à l'expédition des colis à CIGEO.

12 TRANSPORT

Rappelons que le conteneur C1PG en béton durable servant au conditionnement des déchets FMA-vc redevables du CSA porte la qualification transport de type IP2. Il répond donc à la réglementation ADR pour des colis de transport de type A, en particulier à une tenue à la chute sur dalle indéformable à 1,2 m.

Le transport des colis de déchets MAVL conditionnés en C1PG^{SP} en sortie d'ICEDA devra répondre à la réglementation ADR pour un transport de type B.

Un emballage de transport type B sera donc développé. Cet emballage nécessitera par exemple un blindage plus conséquent compte tenu de l'activité radiologique embarquée dans les colis.

La conception d'un tel emballage n'a à ce stade pas été réalisée par EDF. En effet, le besoin se concrétisera après quelques décennies d'entreposage des colis MAVL sur ICEDA. Cette conception pourra s'appuyer sur le retour d'expérience acquis dans le cadre de l'agrément obtenu par EDF pour le transport des paniers de déchets MAVL activés (non bloqués) des réacteurs en démantèlement vers ICEDA. Cette conception devra intégrer les évolutions de l'ADR d'ici là et prendre en compte les contraintes du site de stockage définitif dédié.



ANNEXE 1 – INVENTAIRES RADIOLOGIQUES D'ACTIVATION DES DAE DU PARC REP

[]



ANNEXE 2 – INVENTAIRES RADIOLOGIQUES D'ACTIVATION DES DAD

[]



NOTE

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 78/84

[]



NOTE

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 79/84

[]



**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 80/84

[]



NOTE

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 81/84

[]



NOTE

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 82/84

[]



**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 83/84

[]



NOTE

**Projet ICEDA - Référentiel de conditionnement des déchets MAVL.
Pièce n°1 : spécifications de production et d'entreposage des colis**

ING/DP2D/LP1-DS

Référence :

D305615009088

Indice :

C

Page 84/84

[]