RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ANDRA
Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs

Décembre 2022

DOSSIER D'AUTORISATION DE CRÉATION DE L'INSTALLATION NUCLÉAIRE DE BASE (INB) CIGÉO

PIÈCE 7

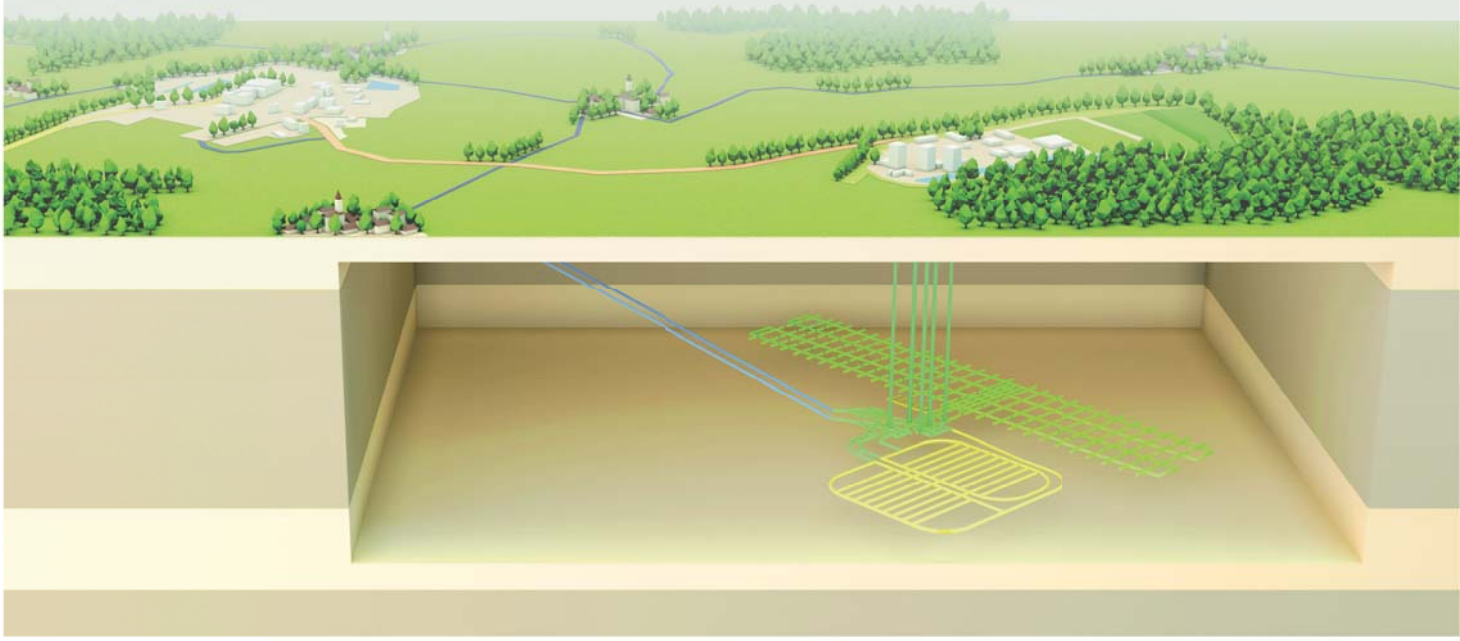
Version préliminaire du rapport de sûreté

PARTIE II

Description de l'INB,
de son environnement et de son fonctionnement
et évolution du système de stockage après fermeture

Volume 3

Les colis de déchets



Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo

Pièce 7 : Version préliminaire du rapport de sûreté
Partie II : Description de l'INB, de son environnement et ce son fonctionnement et évolution du système de stockage après fermeture
Volume 3 : Les colis de déchets

CG-TE-D-NTE-AMOA-SR0-0000-21-0007/A

Sommaire

1. L'inventaire de référence : les colis primaires de déchets HA et MA-VL 9

1.1 L'élaboration de l'inventaire de référence des colis des déchets HA et MA-VL 10

1.1.1 La provenance des déchets 10
1.1.2 Le scénario industriel d'exploitation des installations nucléaires support à l'inventaire de référence 11
1.1.3 La notion de familles de colis de déchets 11
1.1.4 L'état de production des familles de colis de déchets radioactifs 12

1.2 Les familles de colis de déchets HA 12

1.2.1 Les familles de colis de déchets vitrifiés 16
1.2.2 Les autres familles de colis de déchets HA (sources scellées usagées, déchets technologiques...) 18

1.3 Les familles de colis de déchets MA-VL 18

1.3.1 Les familles de colis de déchets de structure issus du retraitement des combustibles usés 25
1.3.2 Les familles de colis de déchets de fonctionnement et de démantèlement des réacteurs nucléaires de production d'électricité 26
1.3.3 Les familles de colis de déchets de fonctionnement et de démantèlement des usines du cycle du combustible 27
1.3.4 Familles de colis de déchets de fonctionnement et de démantèlement des installations de recherche du CEA 29
1.3.5 Les déchets de fonctionnement, et de démantèlement des nouvelles installations 34
1.3.6 Les déchets collectés par l'Andra 34

1.4 Le cas spécifique des colis de déchets bitumés 34

1.5 Les colis prévus en Phase industrielle pilote 35

1.6 La connaissance des colis de déchets radioactifs 35

2. Les colis de stockage HA et MA-VL 37

2.1 Les colis de stockage HA 38

2.1.1 Les types de colis de stockage HA 38
2.1.2 Les fonctions du colis HA 40
2.1.3 La description du conteneur de stockage HA 42
2.1.4 La fabrication des conteneurs de stockage HA 45

2.2 Les colis de stockage MA-VL 46

2.2.1 Les types de colis de stockage MA-VL 47
2.2.2 Les fonctions du colis MA-VL 50
2.2.3 La description du conteneur de stockage MA-VL 55
2.2.4 La fabrication des conteneurs de stockage MA-VL 59

3. Les inventaires radiologiques et en substances toxiques chimiques des colis de déchets HA et MA-VL 61

3.1 Les inventaires radiologiques 62

3.1.1 Les données d'entrée et les hypothèses 62
3.1.2 La démarche pour la construction de l'inventaire radiologique retenu pour le dimensionnement de l'INB et pour les études de sûreté pour la phase de fonctionnement 62

3.1.3 La démarche pour la construction de l'inventaire retenu pour les évaluations de sûreté après-fermeture 63
3.1.4 La présentation de l'inventaire radiologique pour les évaluations de sûreté après fermeture 65
3.2 Les inventaires en substances toxiques chimiques 68
3.2.1 L'inventaire en substances toxiques chimiques pour la phase d'après-fermeture 69
3.2.2 L'inventaire en substances toxiques chimiques pour la phase de fonctionnement 70

4. Les grandeurs caractéristiques des colis de déchets 71
4.1 Les grandeurs caractéristiques pour la phase de fonctionnement de l'INB 72
4.1.1 Les données d'entrées et les hypothèses générales 72
4.1.2 La protection contre l'exposition aux rayonnements ionisants 73
4.1.3 Le confinement des substances radioactives 75
4.1.4 La sûreté-criticité 85
4.1.5 L'évacuation de la puissance thermique des colis de déchets 87
4.1.6 L'évacuation des gaz produits par radiolyse et par corrosion interne des colis de déchets 88
4.2 Les « grandeurs caractéristiques » pour le long terme après la fermeture définitive de l'installation de stockage 90
4.2.1 La puissance thermique des colis de déchets 91
4.2.2 Les substances dans les déchets MA-VL 92
4.2.3 Les isotopes fissiles 92

5. Les spécifications préliminaires d'acceptation des colis de déchets 93
5.1 La démarche de construction des spécifications d'acceptation 94
5.2 La structuration des spécifications d'acceptation 96
5.3 Les critères spécifiés 96

6. La maîtrise de la qualité des colis 99
6.1 Le processus de maîtrise de la connaissance des colis 100
6.1.1 Recueillir, partager et archiver les données relatives aux colis 100
6.1.2 Évaluer les données recueillies 101
6.1.3 Exploiter les données recueillies 101
6.2 Le processus de surveillance des colis 102
6.2.1 Le programme de surveillance 103
6.2.2 Les actions de surveillance Andra 103
6.3 Le processus d'acceptation des colis 104
6.3.1 L'approbation d'une famille de colis 105
6.3.2 L'accord de prise en charge 106
6.3.3 L'accord de livraison 106
6.3.4 L'acceptation 106
6.4 Le processus de gestion des écarts aux conditions d'une approbation 107

Annexes 109
Annexe 1 Tableau des catégories physico-chimiques des familles de colis MA-VL 110

Tables des illustrations 115

Références bibliographiques 117

Préambule

Ce volume est le premier de la partie II (description et fonctionnement du stockage) présentant les données d'entrée « colis » de la conception et la démonstration de sûreté.

Il commence par une description des colis de déchets radioactifs de haute activité et moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL), produits (essentiellement) par EDF, Orano et le CEA, dont la prise en charge sur l'INB est l'objet de la présente version préliminaire du rapport de sûreté.

L'inventaire de ces colis de déchets radioactifs HA et MA-VL est appelé l'inventaire de référence (cf. Volume 1 du présent rapport). Les études de phase de conception initiale menées pour le présent dossier d'autorisation de création de l'INB portent, de fait, sur cet inventaire.

Comme expliqué au volume 1 de la présente version préliminaire du rapport de sûreté, cet inventaire de référence est à distinguer de l'inventaire de réserve qui fait l'objet des études d'adaptabilité présentées au volume 12 du présent rapport. En conséquence, ce volume ne porte que sur le seul inventaire de référence.

Cet inventaire de référence est défini à partir de l'inventaire prospectif évalué dans l'Inventaire national des matières et déchets radioactifs (IN) (1) sur la base du scénario de poursuite de la production électronucléaire avec une hypothèse de durée de fonctionnement des installations existantes de 50 ans et de retraitement de la totalité des combustibles usés. L'ensemble des déchets de fonctionnement et de démantèlement des installations disposant de leur décret d'autorisation de création à la date d'élaboration de l'inventaire de référence (2016) sont pris en compte.

L'élaboration de l'inventaire de référence ainsi que la description générale des familles de colis le constituant font l'objet du chapitre 1 du présent volume.

L'ensemble des données de connaissances sur les colis de déchets radioactifs constitue le socle de connaissances pour les études de conception/sureté/scientifiques et technologiques. Ce socle de connaissances a servi de base pour définir :

- les différents colis de stockage en lien avec les modes de stockage retenus dans la conception : ils sont présentés au chapitre 2 du présent volume ;
- les inventaires radiologiques et en substances toxiques chimiques des colis de déchets radioactifs constituant une des données d'entrées importantes pour le dimensionnement de l'installation et les démonstrations de sûreté : ils sont présentés au chapitre 3 du présent volume ;
- les grandeurs caractéristiques supports au dimensionnement des ouvrages et équipements des installations de l'INB présentées au chapitre 4 du présent volume : elles sont définies par type de colis de stockage au regard des fonctions de sûreté et ont notamment pour données d'entrée les inventaires cités ci-avant.

Par ailleurs, les colis de déchets radioactifs sont des éléments importants pour la protection au sens de l'arrêté du 7 février 2012 (2), ceci conformément à l'arrêté du 13 juin 2017 portant homologation de la décision n° 2017-DC-0587 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 mars 2017 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage (3). De ce fait :

- ils font l'objet de spécifications d'acceptation définissant les critères que les colis de déchets radioactifs doivent respecter pour être acceptés dans l'installation nucléaire de base Cigéo ; la démarche d'élaboration, en particulier le lien avec la démonstration de sûreté et la conception de l'INB et la structuration des spécifications préliminaires d'acceptation des colis (4) sont présentées au chapitre 5 du présent volume ;

- ils font l'objet d'un processus de maîtrise de la qualité qui a pour objectif de s'assurer que les colis de déchets stockés ou à stocker dans l'INB ne remettront pas en cause sa sûreté : celui-ci est présenté au chapitre 6 du présent volume.

Le contenu de ce volume permet ainsi de bien comprendre et maitriser les différentes natures de données colis support à la conception de l'INB (cf. Volume 5 du présent rapport) et support à la démonstration préliminaire de sûreté (partie III du présent rapport).

1

L'inventaire de référence : les colis primaires de déchets HA et MA-VL

1.1 L'élaboration de l'inventaire de référence des colis des déchets HA et MA-VL 10
1.2 Les familles de colis de déchets HA 12
1.3 Les familles de colis de déchets MA-VL 18
1.4 Le cas spécifique des colis de déchets bitumés 34
1.5 Les colis prévus en Phase industrielle pilote 35
1.6 La connaissance des colis de déchets radioactifs 35

1.1 L'élaboration de l'inventaire de référence des colis des déchets HA et MA-VL

Comme cela a été introduit au volume 1 de la présente version préliminaire du rapport de sûreté, la conception de l'INB Cigéo et la démonstration de sûreté associée sont établies sur la base d'un inventaire de référence de colis de déchets radioactifs élaboré sur la base du scénario industriel d'exploitation des installations nucléaires (cf. La note « Démarche d'élaboration des inventaires de l'INB Cigéo » (5)). Cet inventaire intègre des marges d'inventaire prises par les producteurs pour couvrir les incertitudes sur le volume de déchets futurs à produire (production ou démantèlement) ou de déchets anciens qui doivent faire l'objet d'opérations de reprise et conditionnement (RCD), sur les modalités de conditionnement et les caractéristiques de certains déchets (cf. La note « Inventaire de référence retenu pour la conception et la démonstration de sûreté de Cigéo au stade des études d'avant-projet » (6)).

1.1.1 La provenance des déchets

Les sources de production des déchets radioactifs de l'inventaire de référence sont les suivantes :

- **les réacteurs nucléaires de production d'électricité de générations successives** :
  - ✓ la première génération correspond à neuf réacteurs de la filière « Uranium Naturel Graphite Gaz (UNGG) » répartis sur le site du CEA de Marcoule et sur les sites EDF de Chinon, Bugey et Saint-Laurent et aujourd'hui arrêtés ;
  - ✓ la deuxième génération correspond à la filière des réacteurs à eau pressurisée (REP) en cours d'exploitation. Elle est constituée de 56 réacteurs en fonctionnement et deux réacteurs à l'arrêt répartis sur 19 sites et du réacteur en démantèlement Chooz A, premier réacteur de la filière REP ;
  - ✓ la troisième génération correspond au réacteur pressurisé européen EPR (*European Pressurized water Reactor*) sur le site de Flamanville appartenant également à la filière des réacteurs à eau pressurisée ;
  - ✓ les réacteurs prototypes aujourd'hui arrêtés : le réacteur à eau lourde de Brennilis (EL4) et les réacteurs à neutrons rapides (RNR) Phénix et Superphénix ;
- **les usines du cycle du combustible** : l'enrichissement de l'uranium, la fabrication du combustible nucléaire, ainsi que le retraitement de celui-ci à l'issue de son utilisation dans les réacteurs, s'effectuent dans différentes installations exploitées par le groupe Orano. Le retraitement consiste à séparer les matières valorisables, uranium et plutonium, des déchets, composés d'une part des produits de fission et des actinides mineurs (américium, curium, neptunium) contenus dans les pastilles de combustible et d'autre part des éléments de structure constituant l'ossature métallique des assemblages combustibles ;
- **les installations du CEA** : pour conduire les recherches qu'il mène notamment en soutien au programme électronucléaire français, sur la conception de systèmes nucléaires de nouvelle génération ou encore sur la gestion des déchets radioactifs, le CEA s'appuie sur de nombreuses installations (réacteurs expérimentaux tels que le prototype de réacteur à neutrons rapides Rapsodie ou les réacteurs Orphée et Osiris, laboratoires d'études sur les combustibles ou l'aval du cycle, notamment l'installation Atalante...) situées principalement sur les sites de Cadarache, Saclay et Marcoule. Ces sites disposent aussi d'installations support (entreposages de déchets, installations de traitement de déchets et d'effluents). Certaines de ces installations sont aujourd'hui arrêtées et en cours d'assainissement-démantèlement. Le CEA dispose également d'installations menant des activités liées à la force de dissuasion, parmi lesquelles on peut citer les réacteurs CELESTIN sur le site de Marcoule qui étaient destinés à la fabrication de composants des têtes nucléaires et qui ont été arrêtés en 2009 ;

- **les nouvelles installations ayant obtenu leur décret d'autorisation de création** : en plus de l'EPR de Flamanville, l'inventaire de l'INB Cigéo prend en compte le réacteur expérimental Jules Horowitz (RJH), le réacteur d'essais (RES) et l'installation ITER de Cadarache ;
- **des déchets radioactifs d'origine diverses** : ils correspondent le plus souvent à des sources et divers déchets issus des petits producteurs (hôpitaux, industrie agro-alimentaire...) ; cette population de colis reste minime par rapport aux autres typologies.

1.1.2 Le scénario industriel d'exploitation des installations nucléaires support à l'inventaire de référence

Les colis de déchets retenus dans l'inventaire de référence sont ceux établis dans la note citée en référence (cf. La note « Inventaire de référence retenu pour la conception et la démonstration de sûreté de Cigéo au stade des études d'avant-projet » (6)).

Pour établir cet inventaire qualitatif et quantitatif, le scénario industriel d'exploitation des installations nucléaires retenu est le suivant :

- en ce qui concerne le parc électronucléaire, ce scénario suppose la poursuite de la production électronucléaire avec retraitement de tous les combustibles usés des REP et RNR électrogènes (Phénix, Superphénix). La durée de fonctionnement prise conventionnellement pour établir cet inventaire de référence, pour tous les réacteurs, y compris le réacteur EPR de Flamanville, est de 50 ans ;
- ce scénario ne préjuge pas des résultats du réexamen périodique des réacteurs REP, ni des modalités liées, le cas échéant, à l'allongement de la durée de fonctionnement de ces réacteurs au-delà des 50 ans pris en référence et/ou au renouvellement éventuel du parc par un déploiement de réacteurs de troisième génération (EPR) et/ou par des réacteurs de quatrième génération ;
- il considère que les matières (uranium et plutonium) non valorisées dans les réacteurs REP du parc actuel et l'EPR de Flamanville pourront l'être dans des installations futures. Les déchets produits par un éventuel futur parc de réacteurs ne sont pas pris en compte.

En ce qui concerne les installations nucléaires liées aux activités de retraitement du combustible (usines Orano), le scénario retenu considère que, par convention, elles adaptent leur durée de fonctionnement à celle du parc électronucléaire.

Pour les installations de recherche (réacteurs et laboratoires CEA), actuellement en exploitation, leur durée de fonctionnement est supposée être de 50 ans. La durée de fonctionnement du réacteur Jules Horowitz est supposée être de 50 ans, celle de l'installation ITER de 20 ans.

L'ensemble des déchets produits pendant le fonctionnement et le démantèlement (y compris les déchets issus des opérations de reprise et conditionnement) des installations nucléaires disposant de leur décret d'autorisation de création à la date de définition de l'inventaire de référence ont été pris en compte dans celui-ci.

1.1.3 La notion de familles de colis de déchets

Le recensement effectué pour l'établissement des stocks de déchets déclarés à l'IN conduit à un nombre élevé de déchets déclarés. Les déchets sont donc regroupés par famille correspondant à un ensemble cohérent de déchets radioactifs ayant des caractéristiques analogues. À titre d'exemple, la famille F1-3-01 de l'IN correspond aux colis de déchets vitrifiés CSD-V d'Orano/La Hague.

La subdivision des familles de l'IN en familles élémentaires permet de présenter les caractéristiques des colis à l'échelle nécessaire pour mener les études. En effet, dès le début des recherches sur le stockage en couche géologique profonde des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue, l'Andra et les producteurs de déchets ont réparti les déchets radioactifs HA et MA-VL en famille élémentaire nommée à l'aide d'un identifiant unique.

La nomenclature de ces familles élémentaires est composée d'un trigramme permettant d'identifier le producteur[1] (COG pour Orano, CEA, EDF) suivi d'un nombre à trois ou quatre chiffres (par exemple COG-100, CEA-1510, EDF-080).

Par définition, une famille de colis représente un ensemble de colis présentant des caractéristiques (en particulier procédé de fabrication, contenu chimique et radiologique, puissance thermique, niveau d'irradiation) similaires au regard des utilisations qui sont faites de ces caractéristiques dans les études de conception/sûreté de l'INB.

Les familles élémentaires figurant dans l'inventaire de référence sont ainsi plus nombreuses et plus détaillées que celles utilisées dans le cadre de l'IN. Chaque famille élémentaire de colis utilisée dans le cadre du projet Cigéo appartient dans sa totalité à une même famille de l'IN. En reprenant l'exemple précité, la famille F1-3-01 de l'IN est subdivisée en familles élémentaires COG-140, COG-200, COG-800, COG-810, COG-820, COG-830, COG-880, COG-890 et COG-900.

1.1.4 L'état de production des familles de colis de déchets radioactifs

Les familles de colis de déchets de cet inventaire de référence sont regroupées en quatre catégories suivant l'état de leur production voire de la définition de leur mode de conditionnement :

- une première catégorie regroupe les familles de colis dont la production est terminée [T] ;
- la deuxième catégorie concerne les familles de colis en cours de production, pour lesquelles le conditionnement des déchets est défini et une spécification de production existe [EC] ;
- la troisième catégorie regroupe les familles de colis non encore produits à ce jour mais dont la définition du conditionnement des déchets est déjà bien avancée [F] ;
- la quatrième catégorie concerne les familles de colis non encore produits à ce jour et dont le conditionnement est encore à déterminer [AD].

Il convient de noter que :

- lorsqu'une famille regroupe des colis de déchets radioactifs déjà tous produits mais devant faire l'objet de l'ajout d'une enveloppe supplémentaire connue afin de constituer le colis primaire avant envoi à l'INB Cigéo, la production de cette famille est considérée comme terminée ;
- lorsqu'une famille comprend des colis de déchets radioactifs devant faire l'objet d'une enveloppe supplémentaire à déterminer ou d'un reconditionnement, d'autant plus si le conteneur primaire est défini par le producteur comme « à déterminer », la production de cette famille relève de la troisième ou quatrième catégorie selon le niveau de définition du reconditionnement envisagé.

Cette notion d'état de production est liée à la famille de colis et non aux colis eux-mêmes.

1.2 Les familles de colis de déchets HA

Les déchets HA sont principalement des déchets vitrifiés (99,4 % des colis de déchets HA). Le nombre de familles de colis de déchets HA est de 19.

Les caractéristiques de ces colis de déchets sont synthétisées dans le tableau 1-1 ci-après. Dans la dernière colonne est précisée la catégorie à laquelle appartient la famille en termes d'état de production selon les abréviations précisées au chapitre 1.1.4 du présent volume.

[1] Le terme « producteur » s'entend comme étant l'exploitant nucléaire des installations dans lesquelles les colis de déchets sont produits.

Tableau 1-1 *Inventaire en colis de déchets HA*

Identifiant familles	Intitulé famille	Conteneur Primaire	Nombre de colis	État de production
CEA-200	Conteneurs PIVER produits de 1969 à 1981 contenant des solutions de produits de fission SICRAL et PHENIX dans une matrice verre	Étui inox regroupant 2 PIVER	88	F
CEA-350	Conteneurs en acier inoxydable contenant des déchets vitrifiés d'Atalante	Conteneur AVM	5	F
CEA-1070	Conteneurs de déchets vitrifiés AVM produits sous spécification d'assurance qualité depuis mars 1995	Conteneur AVM	865	T
CEA-1080	Conteneurs de déchets vitrifiés AVM produits avant 1995	Conteneur AVM	2 294	T
CEA-1190	Déchets vitrifiés divers (verres de laboratoire) entreposés au bâtiment 213 de l'APM (hors PIVER)	À déterminer	8	AD
CEA-1500	Sources radioactives HA (137Cs, 90Sr, 238Pu)	Conteneur AVM	7	F
COG-140	Conteneurs standards de déchets vitrifiés/CSD-V : verres UOX produits suivant la spécification 300 AQ 016	CSD-V	6 900	T
COG-150	Conteneurs standards de déchets vitrifiés/CSD-U : verres UMo produits suivant la spécification 300 AQ 059	CSD-U	800	T
COG-160	Conteneurs standards de déchets vitrifiés/CSD-RU : reliquats de verres Umo	CSD-RU	15	F
COG-200	Conteneurs standards de déchets vitrifiés/CSD-V : verres UOX/URE/MOX	CSD-V	24 060	F

Identifiant familles	Intitulé famille	Conteneur Primaire	Nombre de colis	État de production
COG-800	Conteneurs standards de déchets Vitrifiés/CSD-V : verres UOX produits suivant la spécification 300 AQ 060	CSD-V	19 010	EC
COG-810	Conteneurs standards de déchets vitrifiés/CSD-V : verres de vidange R7/T7	CSD-V	250	EC
COG-820	Conteneurs standards de déchets vitrifiés/CSD-V : verres de calcinats	CSD-V	75	EC
COG-830	Conteneurs standards de déchets vitrifiés/CSD-V : verres REP/RNR (Superphénix et Phénix)	CSD-V	1 095	F
COG-850	Déchets technologiques issus des ateliers de vitrification conditionnés en conteneurs standards	CSD	300	F
COG-870	Capsules de titanates de Sr conditionnées en conteneurs standards/CSD-TiSr	CSD-TiSr	3	F
COG-880	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres CU du CEA/Civil	CSD-V	11	F
COG-890	Conteneurs standards de déchets vitrifiés : verres CU du CEA/DAM	CSD-V	80	F
COG-900	Colis de déchets vitrifiés issus du traitement des CU EL4	CSD-V	30	F

Pour illustration, un conteneur standard de déchets vitrifiés/CSD-V est représenté dans la figure 1-1.

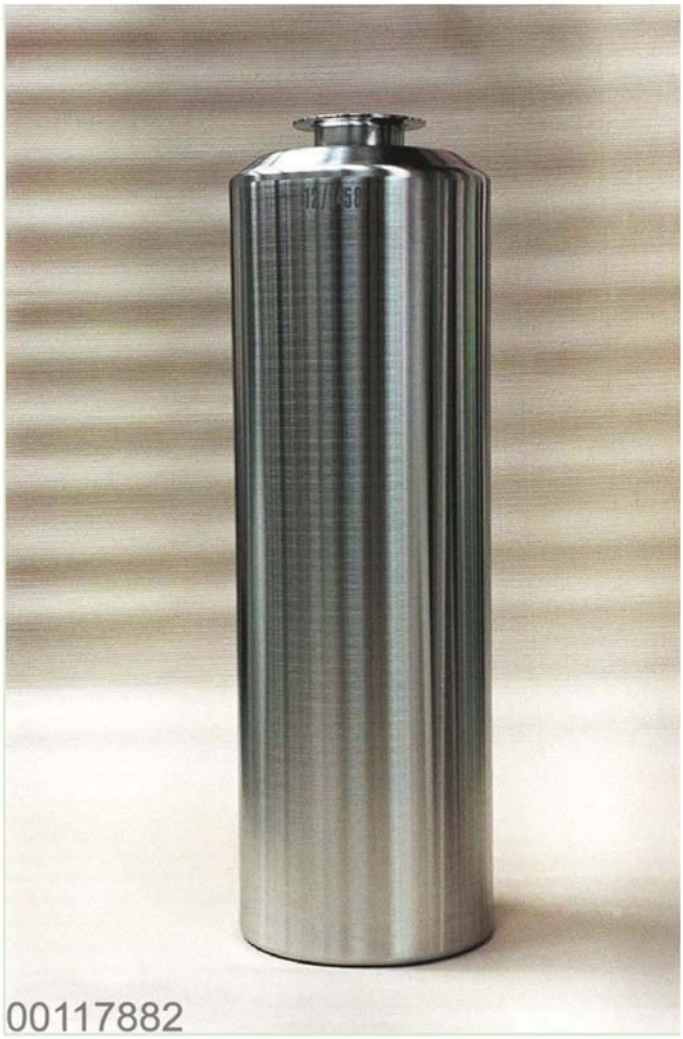


Figure 1-1 *Conteneur standard de déchets vitrifiés (CSD-V)*

Le graphique ci-après donne la répartition du nombre de colis par état de production. Plus de la moitié des colis de déchets HA a un mode de conditionnement bien connu (T et EC) et l'autre moitié des colis de déchets HA n'est pas encore produit. Pour 0,01 % des colis de déchets, le conditionnement est à l'étude (AD).

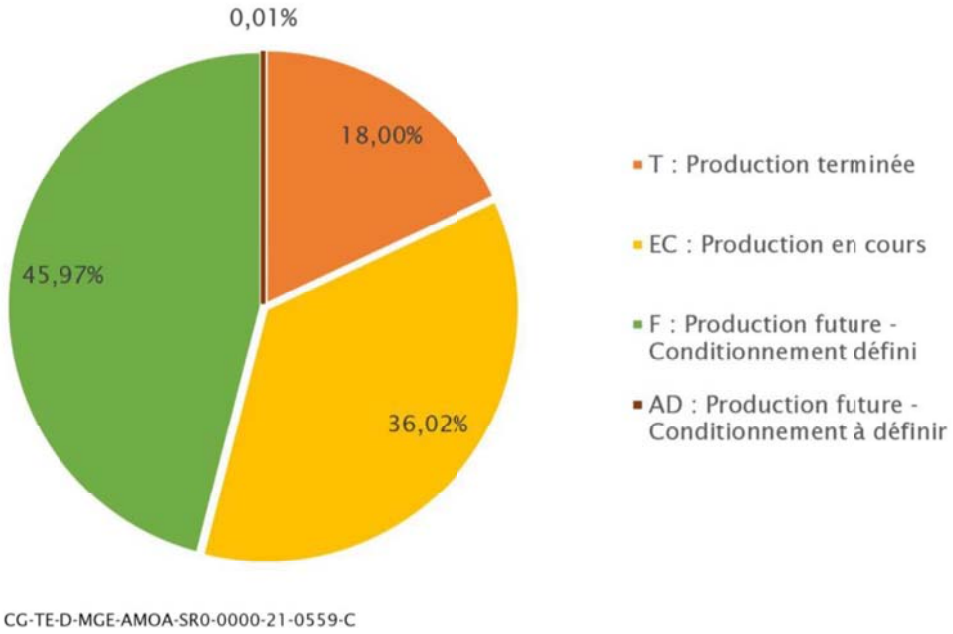


Figure 1-2 Répartition du nombre de colis HA par état de production

Les chapitres qui suivent, précisent quelques informations utiles en termes de description, pour les familles de colis HA identifiées dans le tableau 1-1 ci-avant. Ces informations sont présentées en regroupant les familles similaires c'est-à-dire qui relèvent d'une même nature de déchets/conditionnement et/ou d'un même lieu de production voire d'un même procédé.

1.2.1 Les familles de colis de déchets vitrifiés

1.2.1.1 Colis de déchets vitrifiés CSD-V d'Orano/La Hague (COG-140, COG-200, COG-800, COG-810, COG-820, COG-830, COG-880, COG-890 et COG-900)

Ces colis sont des conteneurs standards de déchets vitrifiés en acier inoxydable (CSD-V) dans lesquels sont conditionnées les solutions de produits de fission et d'actinides mineurs, calcinées et incorporées dans une matrice de verre, dans les ateliers de vitrification R7 et T7 de La Hague. Les solutions de produits de fission sont issues du retraitement de combustibles UOX (COG-140 et COG-800 pour les combustibles à taux de combustion plus élevés), du retraitement des combustibles usés du CEA et de ceux du réacteur EL4 de Brennilis (COG-880 pour le CEA/Civil, COG-890 pour le CEA/DAM et COG-900 pour EL4), du retraitement des combustibles usés MOX en mélange avec des combustibles usés UOX et URE (COG-200) et du retraitement des combustibles usés des réacteurs à neutrons rapides Phénix et Superphénix en mélange avec des combustibles UOX (COG-830).

Des colis de déchets vitrifiés sont également produits lors de la vidange du four de vitrification (COG-810) et à partir de calcinats issus des campagnes de nettoyage du calcinateur (COG-820).

1.2.1.2 Colis de solutions molybdiques de produits de fission vitrifiés de La Hague (COG-150 et COG-160)

Ces colis résultent de la vitrification des solutions molybdiques de produits de fission selon un procédé analogue à celui utilisé aujourd'hui pour la production des colis de déchets vitrifiés, mais utilisant une technologie dite du « creuset froid », associée à une nouvelle formulation de verre (COG-150). Ces solutions sont issues du retraitement des combustibles usés dits « UMo » (constitués d'alliage d'uranium et de molybdène) utilisés dans les réacteurs uranium-naturel-graphite gaz (UNGG), qui sont arrêtés.

Les reliquats de verre UMo sont issus du traitement des solutions de produits de fission UMo sur la chaîne B de l'atelier R7 de la Hague. À la fin d'une campagne d'élaboration de verre UMo, et après arrêt du four, il reste le long des parois froides du creuset et de l'agitateur de la matière qui correspond à l'auto-creuset auquel vient s'ajouter le verre figé de la dernière coulée. C'est l'ensemble auto-creuset plus verre figé à la dernière coulée qui est appelé reliquat (COG-160).

Le conteneur utilisé pour ces colis est le conteneur standard de déchets vitrifiés en acier inoxydable.

1.2.1.3 Colis de déchets vitrifiés de l'Atelier de Vitrification de Marcoule (CEA-1070 et CEA-1080)

Ces colis proviennent des campagnes de vitrification des produits de fission et des actinides mineurs issus notamment du traitement des combustibles usés de la filière UNGG réalisées dans l'atelier de vitrification de Marcoule (AVM) entre 1978 et 2008. La production sous spécification d'assurance qualité a démarré en mars 1995 et correspond à la famille CEA-1070. La production antérieure à 1995 correspond à la famille CEA-1080.

Le conteneur utilisé pour cette famille est un conteneur en acier inoxydable, de hauteur inférieure et de diamètre supérieur aux hauteurs et diamètre du conteneur utilisé à La Hague mais de volume équivalent.

1.2.1.4 Colis de déchets vitrifiés PIVER du CEA/Marcoule (CEA-200 et CEA-1190)

Le développement et la mise au point du procédé de vitrification des déchets ont été réalisés par le CEA dans plusieurs installations de l'atelier pilote de Marcoule (APM), dès le début des années 1960. Ces études ont débouché sur la construction d'un premier pilote industriel de vitrification de solutions de dissolution de combustibles usés (PIVER).

Les solutions de produits de fission vitrifiées dans cette installation provenaient d'une part du retraitement de combustibles usés de type Sicral (Si Cr Al : alliage uranium, silicium, chrome, aluminium), utilisés dans les réacteurs de la filière UNGG (Uranium Naturel-Graphite-Gaz) et d'autre part, du retraitement de combustibles à base d'UO_2 irradiés dans le réacteur Phénix à neutrons rapides. Ces colis (CEA-200) ont été produits entre 1969 et 1973 pour les colis de déchets vitrifiés Sicral (94 % du total) et entre 1979 et 1980 pour les colis de déchets vitrifiés Phénix. Ils seront regroupés par deux au maximum dans des étuis en acier inoxydable.

Parallèlement, les études ont donné lieu à la fabrication d'échantillons de déchets vitrifiés, conditionnés dans des conteneurs en acier inoxydable de différentes géométries (CEA-1190). Ils seront regroupés par deux au maximum dans des étuis en acier inoxydable.

1.2.1.5 Colis de déchets vitrifiés d'Atalante du CEA/Marcoule (CEA-350)

Les recherches menées dans Atalante sur des combustibles UOX et MOX génèrent des effluents radioactifs, qui doivent être vitrifiés dans une chaîne blindée d'Atalante. Le procédé de conditionnement envisagé par le CEA comprend la vitrification des déchets dans des pots métalliques, le regroupement et le blocage des pots à l'intérieur d'un panier avec de la frite de verre, puis une mise en conteneur.

1.2.2 Les autres familles de colis de déchets HA (sources scellées usagées, déchets technologiques…)

1.2.2.1 Colis de déchets technologiques issus des ateliers de vitrification d'Orano/La Hague (COG-850)

Dans les premières années de fonctionnement de l'atelier de vitrification R7 de La Hague, des déchets technologiques de fonctionnement de cet atelier ont été conditionnés dans des conteneurs standards en acier inoxydable de géométrie extérieure identique à celle des colis de déchets vitrifiés de La Hague.

Ce même conditionnement est envisagé pour des paniers contenant des déchets technologiques tels que des morceaux de verre et des découpes d'équipements des ateliers R7 et T7.

1.2.2.2 Colis de capsules de titanate de strontium d'Orano/La Hague (COG-870)

L'atelier Elan IIB, situé à La Hague, était un pilote pour la fabrication de sources scellées de césium 137 et de strontium 90. Le strontium arrivait conditionner dans l'atelier Elan IIB dans des étuis métalliques (capsules) et subissait des opérations de fractionnement, compactage et conditionnement sous une double enveloppe métallique. Cet atelier, dont l'exploitant nucléaire était le CEA, a été mis en service en 1970. La production a été arrêtée à partir de 1973. Quinze capsules de titanate de strontium sont actuellement entreposées à La Hague.

Le procédé envisagé pour le conditionnement de ces capsules consiste à les bloquer dans un conteneur standard en acier inoxydable de type CSD-C. Il est prévu de placer cinq capsules dans une galette métallique centrale, des galettes (deux supérieures et une inférieure) constituées d'une enveloppe en acier inoxydable remplies de billes de verre de type borosilicaté assurant le remplissage du colis.

1.2.2.3 Colis de sources scellées usagées (césium 137, strontium 90, plutonium 238) du CEA (CEA-1500)

Il s'agit de sources de forte activité au césium et au strontium, dont certaines proviennent de générateurs isotopiques ainsi que d'un lot de sources de stimulateurs cardiaques (Pu 238). Ces sources seront conditionnées dans un colis de géométrie extérieure identique au colis de verre AVM.

1.3 Les familles de colis de déchets MA-VL

Les déchets MA-VL sont principalement des déchets de structure issus du traitement des combustibles usés (37 % des colis de déchets MA-VL), des déchets résultant du traitement des effluents liquides des installations nucléaires (38 % des colis de déchets MA-VL) et des déchets technologiques activés (3 % des colis de déchets MA-VL) ou contaminés (19 % des colis de déchets MA-VL) issus de l'exploitation ou du démantèlement des installations nucléaires. Les colis de déchets MA-VL de l'inventaire de référence sont répartis au sein de 80 familles.

Les caractéristiques de ces colis de déchets sont synthétisées dans le tableau 1-2 ci-après.

Tableau 1-2 Inventaire en colis de déchets MA-VL

Identifiant familles	Intitulé famille	Conteneur Primaire	Nombre de colis	État de production
AND-000	Déchets collectés par l'Andra conditionnés en conteneur 870 L	870 L	19	AD
CEA-050	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits sous spécification s'assurance qualité (à partir cu 1er janvier 1994) contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	870 L	3 550	EC
CEA-060	Conteneurs en acier de 500 litres produits depuis 1994 sous spécification d'assurance qualité et contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	500 L acier	1 250	EC
CEA-070	Conteneurs en béton de 500 litres contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique produits sous spécification d'assurance qualité	500 L béton	43	T
CEA-080	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits de 1972 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	870 L	2 188	T
CEA-090	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits de 1990 à fin 1993 contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	870 L	562	T
CEA-100	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des fûts de 700 litres de concentrats à 800 g/L enrobés dans un liant hydraulique	870 L	40	T
CEA-110	Conteneurs 500 litres en acier non allié produits de 1970 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	500 L acier	427	T
CEA-120	Conteneurs 500 litres en acier non allié produits de 1990 à 1994 contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	500 L acier	210	T
CEA-140	Conteneurs en béton de 500 litres produits avant 1994 et contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique	500 L béton	2 297	T
CEA-150	Conteneurs en béton de 500 litres contenant des fûts de concentrats d'évaporation enrobés dans un liant hydraulique	500 L béton	381	T
CEA-231	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs béton de 5 m^3	5 m^3 béton	19	T
CEA-232	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs EIP	EIP	952	F
CEA-270	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique (CEA/DAM Valduc)	870 L	415	F
CEA-280	Fûts 223 litres en acier non allié contenant des boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique (y compris fûts produits sous spécification d'assurance qualité)	Fût acier	2 149	T

Identifiant familles	Intitulé famille	Conteneur Primaire	Nombre de colis	État de production
CEA-290	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1 800 litres contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	Conteneur acier	169	T
CEA-300	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1 800 litres contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	Conteneur acier	11	T
CEA-310	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1 000 litres contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume ou un mélange boues-ciment	Conteneur acier	88	T
CEA-320	Fûts en acier contenant des boues ou concentrats ou un mélange de boues-concentrats cimentés (CEA/DAM Valduc)	Fût acier	360	T
CEA-330	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets métalliques et organiques « Pégase »	870 L 313 FI	619	T
CEA-340	Conteneur standard de déchets (CSD) contenant des effluents américiés vitrifiés (verre MA-VL Valduc)	CSD	150	F
CEA-360	Déchets issus du DEM des objets du cœur de Phénix	À déterminer	781	AD
CEA-370	Objets exotiques de Phénix	À déterminer	8	AD
CEA-380	Déchets divers contenant du B4C issus des phases d'exploitation et de DEM des réacteurs RNR Rapsodie et Phénix	1 500 L	3	AD
CEA-400	Déchets irradiants issus du DEM de Rapsodie, de l'assainissement des fosses de Cadarache et de l'exploitation et du DEM du RJH	À déterminer	200	AD
CEA-410	Déchets irradiants issus de l'exploitation et du DEM de diverses installations de Saclay	À déterminer	300	AD
CEA-420	Déchets issus de l'exploitation et du DEM de diverses installations de Fontenay-aux-Roses	À déterminer	230	AD
CEA-430	Déchets divers issus des phases d'exploitation, d'assainissement et de DEM de diverses installations du Centre de Grenoble	À déterminer	40	AD
CEA-440	Conteneurs 500 litres en acier inoxydable contenant des déchets divers non compactables bloqués dans un liant hydraulique (exploitation CABRI, DEM Rapsodie, fosses CAD, CENG)	500 L	2 000	F
CEA-450	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs bétons dits « Blocs sources »	Conteneur acier	41	T
CEA-460	Déchets de déconstruction des installations du centre CEA de Valduc	870 L	40	AD

Identifiant familles	Intitulé famille	Conteneur Primaire	Nombre de colis	État de production
CEA-480	Colis 223 litres pré-bétonnés hors normes	Fût acier	50	T
CEA-1000	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier inoxydable d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (à partir d'octobre 1996)	EIP	2 700	EC
CEA-1010	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (de 1995 à 1996)	EIP	1 709	T
CEA-1020	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits avant 1995	EIP	24 422	T
CEA-1040	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de procédé cimentés	EIP	3 013	AD
CEA-1050	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure métalliques cimentés (y compris le DEM des Célestins)	EIP	1 320	AD
CEA-1060	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure magnésiens bloqués dans un liant hydraulique	Fût acier	7 464	AD
CEA-1090	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique	EIP	1 353	AD
CEA-1100	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique (déchets alpha Marcoule)	870 L FI	410	EC
CEA-1110	Déchets technologiques issus de l'AVM	À déterminer	188	AD
CEA-1120	Conteneurs type AVM en acier inoxydable contenant des déchets vitrifiés issus des effluents de rinçage UP1 Marcoule (verres MA-VL)	Conteneur AVM	147	T
CEA-1140	Fûts en acier inoxydable contenant des boues de filtration cimentées issues de l'installation STEMA	EIP	120	F
CEA-1151	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de DEM des chaînes TOP et TOR, à reconditionner en fûts EIP	EIP	60	AD
CEA-1152	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de DEM des chaînes TOP et TOR	À déterminer	450	AD
CEA-1180	Fûts alpha 200 litres entreposés au bâtiment 99 de la zone nord CDS à placer provisoirement dans une coque réversible de 500 litres	Fût acier	183	T
CEA-1200	Déchets divers entreposés dans les bâtiments 211 et 213 (hors conteneurs de déchets vitrifiés PIVER et autres verres HA)	À déterminer	50	AD
CEA-1510	Sources radioactives (alpha, neutroniques et divers)	870 L FI	60	F

Identifiant familles	Intitulé famille	Conteneur Primaire	Nombre de colis	État de production
COG-020	Fûts bitumes STE3 produits suivant la spécification 300 AQ 027	Fût acier	13 100	EC
COG-030	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits après 1994 suivant la spécification 300 AQ 044	CBF-C'2	8 117	EC
COG-040	Fûts de coques et embouts cimentés produits suivant la spécification 300 AQ 025	Fût acier	1 517	T
COG-050	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits avant 1994 suivant la spécification 300 AQ 038	CAC	324	T
COG-070	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C contenant des coques et embouts du silo HAO	CSD-C	1 527	F
COG-100	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C produits suivant la spécification 300 AQ 055 (dont coques et embouts des fûts ECE et des piscines S1, S2 et S3)	CSD-C	6 675	T
COG-110	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C contenant des coques et embouts issus d'assemblages combustibles UOX	CSD-C	17 850	EC
COG-120	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C contenant des coques et embouts issus d'assemblages combustibles UOX/URE/MOX	CSD-C	22 720	F
COG-400	Déchets contaminés alpha en provenance de CAD, Melox et LHA conditionnés dans un colis PIVIC par incinération/vitrification	PIVIC	1 500	F
COG-420	Fûts enrobés bitumineux STE2 (reprise partielle silo 550-14)	Fût acier	340	T
COG-430	Boues STE2 séchées, compactées et immobilisées dans un conteneur métallique	À déterminer	14 429	AD
COG-440	Fûts ECE cimentés de fines et résines du silo HAO	Fût ECE	121	F
COG-450	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C contenant des déchets de structure issus d'assemblages combustibles REP et RNR (Superphénix et Phénix)	CSD-C	1 514	F
COG-460	Conteneurs standards de déchets Compactés/CSD-C contenant des déchets technologiques métalliques et organiques et des déchets de DEM	CSD-C	500	F
COG-470	Colis CSD-B contenant des effluents de moyenne activité vitrifiés (MAD UP2-400, UP2-800 et UP3)	CSD-B	1 680	EC
COG-475	Colis CSD-RB contenant des reliquats d'effluents de moyenne activité vitrifiés (MAD UP2-400, UP2-800 et UP3)	CSD-RB	5	F
COG-480	Colis CBF-C'2 contenant des déchets d'exploitation et de DEM (poubelles fosse ATTILA)	CBF-C'2	18	EC
COG-490	Déchets issus des opérations de CDE DEM des usines UP2-400, UP2-800 et UP3 compactés en CSD-C	CSD-C	289	F

Identifiant familles	Intitulé famille	Conteneur Primaire	Nombre de colis	État de production
COG-500	Déchets issus des opérations de CDE DEM des usines UP2-400, UP2-800 et UP3 conditionnés en CBF-C'2	CBF-C'2	1 031	F
COG-510	Déchets issus des opérations de CDE DEM de l'usine MELOX conditionnés en CBF-C'2	CBF-C'2	214	F
COG-530	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C contenant des déchets de structure issus du traitement des CU du CEA/Civil	CSD-C	24	F
COG-540	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C contenant des déchets de structure issus du traitement des CU du CEA/DAM	CSD-C	400	F
COG-550	Conteneurs standards de déchets Compactés/CSD-C contenant des déchets de structure issus du traitement des CU EL4	CSD-C	200	F
COG-560	Déchets issus des colonnes d'élution d'ELAN IIB conditionnés en colis Phomix	Colis Phomix	4	F
EDF-080	C1PG^{SP} de DAE REP	C1PG^{SP}	750	EC
EDF-090	C1PG^{SP} de DAD 1^{e} train hors déchets sodés de Superphénix	C1PG^{SP}	350	F
EDF-100	C1PG^{SP} de DAD des REP du parc actuel (dont BCOT)	C1PG^{SP}	4 700	EC
EDF-110	Crayons sources primaires et secondaires REP et autres sources scellées diverses	870 L	10	AD
EDF-120	Déchets AMI Chinon	870 L	15	AD
EDF-250	Déchets divers contenant du B4C issus des phases d'exploitation et de DEM du réacteur RNR SuperPhénix	870 L	10	AD
ITER-010	Déchets divers conditionnés en fûts produits pendant les phases d'exploitation, de maintenance et de déconstruction du réacteur ITER	Fût acier	2 366	AD
ITER-020	Conteneurs cubiques de déchets divers produits pendant les phases d'exploitation, de maintenance et de déconstruction du réacteur ITER	Conteneur acier cubique	1 158	AD

Pour illustration, un conteneur en béton-fibres cylindrique est représenté sur la figure 1-3.



Figure 1-3 Conteneur en béton-fibres cylindrique

Le graphique ci-après donne la répartition du nombre de colis par état de production. Il permet de constater que plus de la moitié des colis (57 %) de déchets MA-VL ont un mode de conditionnement bien connu (T et EC) et que l'autre moitié des colis de déchets MA-VL ne sont pas encore produits. Pour 21 % des colis de déchets, le conditionnement est à l'étude (AD).

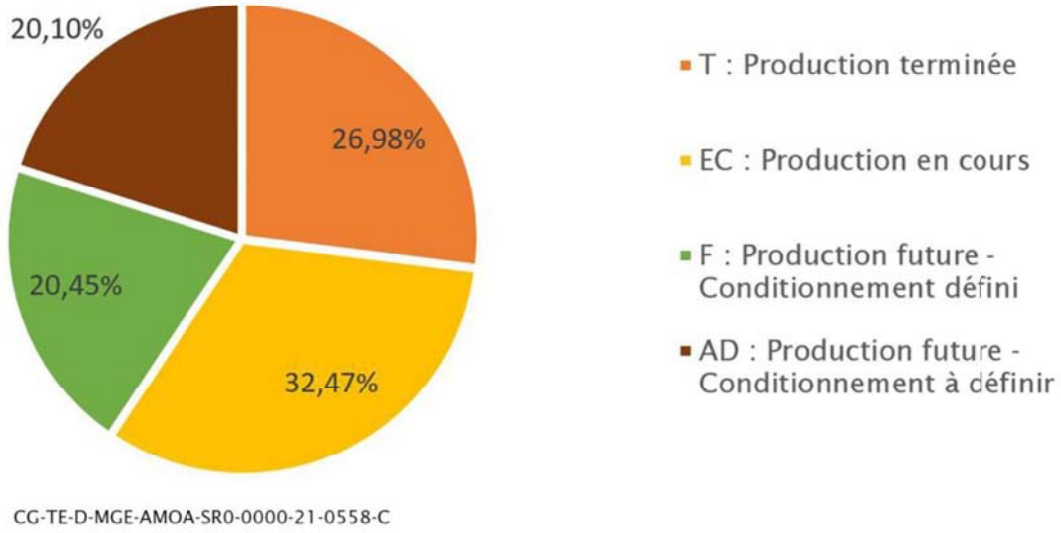


Figure 1-4 Répartition du nombre de colis MA-VL par état de production

Les chapitres qui suivent précisent quelques informations utiles, en termes de description, pour les familles de colis MA-VL identifiées dans le tableau 1-2. Comme pour les familles de colis de déchets HA, ces informations sont présentées en regroupant les familles MA-VL similaires c'est-à-dire qui relèvent d'une même nature de déchets/conditionnement et/ou d'un même lieu de productior voire d'un même procédé mais à des périodes différentes.

1.3.1 Les familles de colis de déchets de structure issus du retraitement des combustibles usés

1.3.1.1 Colis de coques et embouts cimentés d'Orano/La Hague (CEC) (COG-040)

Pendant la période 1990-1995, les déchets de structure étaient cimentés dans des fûts en acier inoxydable, suivant la spécification 300 AQ 25 ; ce mode de conditionnement a été remplacé à partir de 2002 par le compactage.

1.3.1.2 Colis de déchets compactés CSD-C d'Orano/La Hague (COG-070 COG-100, COG-110 COG-120, COG-450, COG-530, COG-540, COG-550)

Depuis 2002, les déchets de structure des combustibles usés des réacteurs à eau pressurisée sont compactés et conditionnés en conteneurs standards de déchets compactés (CSD-C). Les colis CSD-C actuellement produits (COG-100 et COG-110) proviennent du compactage en ligne des déchets de structure issus des combustibles UOX après retraitement ainsi que de la reprise des déchets de structure entreposés sous eau dans des fûts et des déchets de structure entreposés en curseurs dans les piscines S1, S2 et S3 de La Hague. Un faible nombre de ces colis contient également des déchets solides métalliques d'exploitation compactés.

Dans les prochaines années, de tels colis seront aussi constitués à partir des déchets entreposés dans le silo de l'atelier HAO (haute activité oxyde) (COG-070) ainsi que des déchets de structure résultant de traitements futurs de combustibles UOX, URE, MOX en mélange (COG-120), de combustibles des réacteurs à neutrons rapides Phénix et Superphénix (COG-450), des combustibles du CEA et de ceux du réacteur EL4 de Brennilis (COG-530 pour le CEA/Civil, COG-540 pour le CEA/DAM et COG-550 pour EL4).

1.3.1.3 Colis de déchets de structure métalliques cimentés du CEA/Marcoule (CEA-1050)

Cette famille regroupe les déchets de structure métalliques des combustibles, autres que ceux des réacteurs UNGG (combustibles Phénix, combustibles OSIRIS...), traités à l'usine UP1 (Marcoule). Ils se composent de différents matériaux : aluminium, acier inoxydable, alliage de nickel, alliage de zirconium-étain suivant le type de combustible considéré. Ces déchets seront repris en l'état pour entreposage intermédiaire. Les scénarios étudiés ont conduit le CEA à identifier un conditionnemert en fûts de 380 L avec blocage des déchets en matrice cimentaire (le conditionnement final restant à définir).

1.3.1.4 Colis de déchets de structure magnésiens du CEA/Marcoule (CEA-1060)

Les déchets de structure magnésiens sont constitués des gaines et des bouchons (ou queusots) des combustibles des réacteurs UNGG retraités sur le site de Marcoule. Ces déchets devraient être repris et conditionnés en vue d'un entreposage intermédiaire. Le conditionnement final n'est pas défini, l'hypothèse retenue à ce stade est de les bloquer en fûts de 223 litres en acier inoxydable.

1.3.2 Les familles de colis de déchets de fonctionnement et de démantèlement des réacteurs nucléaires de production d'électricité

1.3.2.1 Colis de déchets activés des réacteurs EDF hors déchets sodés (EDF-080, EDF-090)

Ces familles regroupent des composants divers qui ont été exposés au flux de neutrons lors de leur séjour en réacteur. Elle comprend d'une part des déchets activés d'exploitation des réacteurs à eau pressurisée (REP) (EDF-080), d'autre part des déchets activés de déconstruction des réacteurs de première génération ainsi que des déchets de déconstruction non sodés du réacteur à neutrons rapides Superphénix (EDF-090). Les déchets déjà produits sont entreposés dans les piscines des centrales. La production des colis de déchets activés s'effectue au sein de l'installation nucléaire de base dénommée installation de conditionnement et d'entreposage de déchets activés (ICEDA). Les déchets sont conditionnés dans des paniers déposés dans des conteneurs en béton de type C1PG^{SP} et bloqués dans ces derniers avec une matrice cimentaire.

1.3.2.2 Colis de déchets activés de déconstruction (DAD) des réacteurs REP (EDF-100)

Il s'agit des déchets qui seront produits lors du démantèlement des réacteurs REP du parc de deuxième génération en service, de l'EPR de Flamanville et de la BCOT (base chaude opérationnelle du Tricastin). Le scénario actuel retenu par EDF est une mise en conteneur C1PG^{SP} dans l'installation ICEDA à hauteur d'environ une tonne de déchets par colis.

1.3.2.3 Colis d'aiguilles des barres de commande des réacteurs à neutrons rapides - RNR (EDF-250, CEA-380)

Il s'agit des aiguilles de carbure de bore (B4C) qui proviennent des assemblages de commande des réacteurs à neutrons rapides Superphénix (EDF-250) d'une part, Phénix et Rapsodie (CEA-380) d'autre part. Ces aiguilles sont susceptibles de contenir du sodium résiduel qui n'aurait pas été éliminé lors des opérations de lavage des barres de commande. Les hypothèses retenues à ce jour par le CEA et EDF consistent à les conditionner dans des conteneurs métalliques respectivement de 1 500 L et 870 L.

1.3.2.4 Colis de crayons sources primaires et secondaires des réacteurs à eau pressurisée et sources scellées usagées diverses d'EDF (EDF-110)

Cette famille concerne les crayons sources primaires et secondaires des REP. Le mode de conditionnement des crayons sources n'est pas défini au stade actuel. L'option de référence est une mise en conteneur métallique de type 870 L (ou équivalent) après découpe et tri des crayons.

1.3.2.5 Colis de déchets de l'AMI Chinon (EDF-120)

La famille EDF-120 est constituée des déchets entreposés dans les puits de l'AMI (Atelier des matériaux irradiés) à Chinon. Ils proviennent principalement d'activités d'expertises. Ils se composent d'une grande diversité de déchets issus des filières REP et UNGG. L'hypothèse de conditionnement retenue est une mise en conteneur métallique de type 870 L.

1.3.3 Les familles de colis de déchets de fonctionnement et de démantèlement des usines du cycle du combustible

1.3.3.1 Colis de déchets technologiques compactés CSD-C d'Orano/La Hague (COG-460 et COG-490)

Le procédé de compactage mis en œuvre à La Hague pour le conditionnement des déchets de structure de combustibles usés sera aussi utilisé dans les années à venir pour conditionner en colis CSD-C certains déchets de fonctionnement et de démantèlement de l'usine UP2-400 (COG-460) et des usines UP2800 et UP3 (COG-490).

1.3.3.2 Colis de déchets solides de fonctionnement cimentés produits avant 1994 d'Orano/La Hague (COG-050)

Entre 1990 et mars 1994, certains déchets générés lors de l'exploitation courante d'ateliers, d'opérations de maintenance ou de démantèlements (outillages, équipements métalliques...) à La Hague ont été conditionnés dans des conteneurs en béton comportant de l'amiante (dits conteneur amiante-ciment).

1.3.3.3 Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits après 1994 d'Orano/La Hague (COG-030, COG-480, COG-500 et COG-510)

Depuis mars 1994, certains déchets générés lors de l'exploitation courante d'ateliers, d'opérations de maintenance ou de démantèlements (outillages, équipements métalliques...) à La Hague sont conditionnés dans des conteneurs en béton-fibres (COG-030) en remplacement du conteneur précédemment utilisé.

Des déchets issus du démantèlement de la première usine de traitement des combustibles irradiés de La Hague, UP2-400, sont également conditionnés selon ce procédé et seront donc rattachés à cette famille (COG-480).

En outre, les natures de déchets résultant des opérations de démantèlement des usines UP2-800 et UP3 qui ne prendront place qu'au-delà de 2040, étant *a priori* identiques à celles des déchets résultant du démantèlement l'usine UP2-400, ce type de conditionnement est aussi l'hypothèse retenue à ce stade pour évaluer les quantités de colis produits par le conditionnement des déchets non compactables résultant du démantèlement d'UP2-800 et UP3 (COG-500) ainsi que du démantèlement de MELOX (COG-510).

1.3.3.4 Colis de déchets issus des colonnes d'élution d'ELAN IIB conditionnés en colis Phomix d'Orano/La Hague (COG-560)

L'atelier Elan IIB, situé à La Hague, était un pilote pour la fabrication de sources scellées de césium 137 et de strontium 90. Le césium était transporté depuis le CEA/Marcoule dans des colonnes d'élution sur un échangeur minéral puis élué, concentré et calciné. La poudre d'oxyde de césium était ensuite frittée et conditionnée sous une double enveloppe métallique. Les quatre colonnes d'élution actuellement entreposées à La Hague se présentent chacune sous la forme d'un château de transport contenant l'échangeur minéral appelé Phomix contenu dans des réservoirs internes.

Le scénario étudié par Orano est de conserver le conditionnement du Phomix dans son château de transport pour le stockage.

1.3.3.5 Colis de déchets contaminés en émetteurs alpha d'Orano/La Hague (COG-400)

Cette famille regroupe les colis de déchets solides essentiellement contaminés par du plutonium lors des opérations de fabrication de combustibles MOX (usine MELOX et centre de fabrication de combustible de Cadarache) ou de retraitement de combustibles (usines de La Hague). Il s'agit de déchets divers de natures métalliques (outillages, câbles...) ou organiques (gants, manches d'extraction...).

Sont également rattachés à cette famille des colis de déchets issus des opérations préalables à la cessation définitive d'exploitation et au démantèlement d'installations de l'usine UP2-400 de La Hague.

L'hypothèse de conditionnement actuellement retenue par Orano est un conditionnement basé sur un procédé d'incinération/fusion/vitrification (PIVIC).

1.3.3.6 Colis de déchets vitrifiés (CSD-B et CSD-RB) - effluents de rinçage d'Orano/La Hague (COG-470 et COG-475)

Le conditionnement mis en œuvre pour certains effluents de moyenne activité, produits lors des opérations de rinçage effectuées dans le cadre de la mise à l'arrêt définitif de l'usine UP2-400 est une vitrification (en creuset froid) et un conditionnement dans des conteneurs identiques à ceux utilisés pour les déchets vitrifiés de haute activité (COG-470). Ce conditionnement est nommé CSD-B.

Des conteneurs standards de déchets de reliquat de verres d'effluents de rinçages seront produits dans l'atelier R7 du site de La Hague (COG-475). Ces colis sont appelés CSD-RB. Il est prévu de produire quelques unités de colis. Les caractéristiques radiologiques et thermiques de ces colis sont semblables à celles des CSD-B.

1.3.3.7 Colis de boues de la STE2 séchées et compactées d'Orano/La Hague (COG-430)

Les boues dites « STE2 » sont des précipités fixant l'activité contenue dans les effluents secondaires de faible et moyenne activité de l'usine de La Hague. Elles proviennent essentiellement du fonctionnement de l'usine UP2-400 entre 1966 et 1997 et sont entreposées dans sept silos numérotés 550-10 à 550-15 et 550-17 de l'ancienne station de traitement des effluents (STE2). Le conditionnement étudié par Orano au moment de l'établissement de l'inventaire de référence était un séchage avant compactage des boues sous forme de pastilles puis un conditionnement dans des fûts en acier inoxydable. Ce conditionnement a été abandonné par Orano qui en étudie d'autres.

1.3.3.8 Colis de déchets bitumés d'Orano/La Hague (COG-020, COG-420)

La famille COG-020 correspond aux boues traitées et conditionnées par enrobage dans du bitume, dans la station de traitement des effluents n° 3 (STE3) de La Hague. La famille COG-420 correspond au bitumage d'une fraction des boues issues du traitement des effluents sur STE2 provenant du silo 550-14 de La Hague.

1.3.3.9 Colis de fines et résines du silo HAO d'Orano/La Hague (COG-440)

La famille COG-440 regroupe les colis qui seront produits par le conditionnement des déchets de procédé de faible granulométrie (fines de dissolution/clarification, résines et quelques fines de cisaillage) entreposés dans le silo de l'atelier HAO (haute activité oxyde). L'hypothèse de conditionnement retenue par Orano est une cimentation de ces déchets dans des fûts en acier inoxydable dits « fûts ECE ».

1.3.3.10 Colis de déchets solides d'exploitation de l'AVM en conteneur en acier inoxydable du CEA/Marcoule (CEA-1110)

Cette famille regroupe les déchets solides de maintenance produits par l'atelier de vitrification de Marcoule depuis 1980. Ces déchets (morceaux de pots de fusion, résidus de verre, outillage en acier) sont placés dans des conteneurs en acier inoxydable de géométrie identique à celle des conteneurs de verre de l'AVM.

1.3.3.11 Colis de déchets de procédé du CEA/Marcoule (CEA-1040)

Cette famille concerne des déchets de procédé d'origines diverses, liés au fonctionnement de l'usine UP1 et aux opérations de mise à l'arrêt définitif et de démantèlement de l'usine : systèmes de filtration des eaux de piscines (résines échangeuses d'ions, zéolithes...), graphite pulvérulent provenant des combustibles des réacteurs de la filière uranium naturel-graphite-gaz (UNGG) et dépôts de fond de cuves issus du démantèlement d'UP1. Les scénarios étudiés ont conduit le CEA à identifier un conditionnement en fûts de 380 L avec enrobage des déchets en matrice cimentaire (le conditionnement final restant à définir).

1.3.4 Familles de colis de déchets de fonctionnement et de démantèlement des installations de recherche du CEA

1.3.4.1 Colis d'effluents cimentés du CEA/Marcoule (CEA-1140)

Les boues de co-précipitation issues du traitement des effluents du site de Marcoule, actuellement bitumées, seront cimentées et conditionnées dans un fût de type EIP dans l'installation STEMA (station de traitement des effluents de Marcoule). L'inventaire prend en compte l'hypothèse d'une production de fûts MA-VL.

1.3.4.2 Déchets technologiques métalliques et organiques du CEA/Marcoule (CEA-1090)

Cette famille regroupe les colis qui seront produits par le conditionnement des déchets technologiques métalliques et organiques actuellement entreposés en puits et en fosses sur le site de Marcoule, dont le spectre radiologique est à dominante bêta-gamma. Ces déchets ont été générés entre 1960 et 1992 lors des phases d'exploitation courante des ateliers et d'opérations de maintenance (outillages, équipements métalliques) des installations de Marcoule.

Cette famille comprendra également des colis constitués à partir des déchets qui seront issus du démantèlement d'installations de l'atelier de vitrification de Marcoule, notamment des cuves de solutions de produits de fission.

Les scénarios étudiés ont conduit le CEA à identifier un conditionnement en fûts de 380 L avec enrobage des déchets en matrice cimentaire (le conditionnement final restant à définir).

1.3.4.3 Déchets de cœur de réacteurs RNR du CEA/Marcoule (CEA-360 et CEA-370)

Les déchets du cœur du réacteur Phénix, famille CEA-360, correspondent aux assemblages en acier entourant le cœur du réacteur, à une partie des protections neutroniques latérales, aux éléments qui supportent le cœur (sommier et faux-sommier) ainsi qu'aux capsules de cobalt insuffisamment irradiées pour être utilisées en tant que sources. Ces objets, qui sont irradiants, sont actuellement encore en place dans le cœur du réacteur Phénix.

Les colis CEA-370 correspondent aux pièges à césium de réacteurs RNR (Phénix, Rapsodie, Cabri...) et aux pots CELIA du réacteur Siloé. Ces déchets seront mis en conteneurs d'entreposage de type DIADEM (sans blocage) puis entreposés dans la future installation DIADEM.

Ces déchets pourront ultérieurement faire l'objet d'une reprise et d'un conditionnement final afin de respecter les critères des futures spécifications du stockage profond.

1.3.4.4 Colis vitrifiés d'effluents de rinçage de l'atelier de vitrification de Marcoule du CEA (CEA-1120)

Les effluents produits lors des opérations d'assainissement de l'usine UP1 ainsi que certains effluents provenant d'autres sites du CEA (Valduc, Fontenay-aux-Roses, Cadarache) sont vitrifiés à Marcoule puis conditionnés dans des conteneurs en acier inoxydable de type de ceux utilisés dans l'AVM, constituant ainsi des déchets vitrifiés de faible thermicité, qui permet de les rattacher à la catégorie MA-VL.

La production de ces déchets a débuté en 2009 et s'est achevée en 2012.

1.3.4.5 Colis de déchets de structure entreposés à l'APM et déchets de démantèlement de l'APM du CEA/Marcoule (CEA-1151 et CEA-1152)

Les déchets de structure, entreposés à l'APM, ont été produits entre 1974 et 1997 sur les chaînes TOP (Traitement Oxyde Pilote) et TOR (Traitement Oxyde réacteur RNR). Les déchets de démantèlement des chaînes TOP et TOR ne sont pas encore produits.

Les scénarios étudiés ont conduit le CEA à identifier deux familles (CEA-1151 et 1152) avec un conditionnement soit en fûts de 380 L soit en conteneur DIADEM (le conditionnement final restant à définir).

1.3.4.6 Colis de sulfates de plomb radifères du CEA/Cadarache (CEA-231 et CEA-232)

L'usine CEA du Bouchet (Essonne) a traité entre 1958 et 1970 du minerai importé, l'uranothorianite, pour en extraire de l'uranium et du thorium.

Elle a produit des résidus radioactifs : les sulfates de plomb radifères issus de la décontamination des pieds de colonne d'extraction du minerai. Ces résidus ont été conditionnés sur place en fûts métalliques puis ont subi des reconditionnements successifs. Actuellement, ils sont entreposés à Cadarache en caissons en béton de 5 m^3 ou en conteneurs en béton de 500 litres.

L'hypothèse retenue pour les études de conception de l'INB Cigéo consiste à reprendre et conditionner la plus grande partie de ces déchets en fûts en acier inoxydable de type EIP (CEA-232), les autres fûts restant en caissons de 5 m^3 (CEA-231).

1.3.4.7 Colis de boues de filtration et de concentrats cimentés, en coques béton de 500 litres du CEA/Cadarache (CEA-070, CEA-140, CEA-150 et CEA-280)

Les colis de cette famille résultent du conditionnement des boues de filtration issues de la station de traitement des effluents des installations du CEA Cadarache. Ces boues ont été traitées chimiquement, mélangées à du ciment, puis conditionnées en fûts métalliques en acier non allié. Ces fûts ont ensuite été eux-mêmes placés en coques béton de 500 litres, pour entreposage. On distingue les fûts bloqués dans les conteneurs de 500 L avec du béton (CEA-140 avant 1994 et CEA-070 depuis) de ceux placés dans les conteneurs sans blocage (CEA-280). En effet, le CEA conserve la possibilité de retirer les fûts non bloqués des coques béton pour optimiser le volume à stocker. Les colis de la famille CEA-150 résultent du conditionnement en fûts bloqués dans des conteneurs de 500 L avec du béton des concentrats de la station de traitement des effluents du CEA Fontenay-aux-Roses, exploitée entre 1965 et 1994.

1.3.4.8 Conteneurs métalliques « 870 litres » contenant un fût de 700 litres de concentrats cimentés du CEA/Cadarache (CEA-100)

Les concentrats d'évaporation sont principalement issus du traitement d'effluents liquides à la station de traitement des effluents liquides de Fontenay-aux-Roses et à la station de traitement des effluents de Cadarache. Ces concentrats ont été enrobés dans une matrice à base de ciment et conditionnés en fûts métalliques de 700 litres sur la station de traitement des effluents du CEA Cadarache entre 1972 et 1982. Les fûts de 700 litres ont été reconditionnés et blocués au moyen d'un mortier dans des conteneurs en acier non allié de 870 litres rehaussés en 1989-1990.

1.3.4.9 Colis de déchets solides d'exploitation cimentés en fûts métalliques du CEA (CEA-050, CEA-080, CEA-090, CEA-270, CEA-330 et CEA-1100)

Cette famille regroupe les colis de déchets solides d'exploitation, de maintenance ou de démantèlement du CEA, faiblement irradiants, conditionnés en conteneurs en acier non allié. Ces déchets sont constitués essentiellement de matières métalliques et plastiques. En fonction de leur provenance, ils sont susceptibles d'être fortement contaminés en alpha. Les déchets primaires proviennent du centre de Cadarache et d'autres centres du CEA. Ils peuvent être compactés ou non puis bloqués dans des conteneurs métalliques de 870 litres à la station de traitement des déchets solides de Cadarache.

Les premières productions ont démarré en 1972. Durant la période 1972-1990, le matériau de blocage était à base d'un mélange de ciment et de bitume (CEA-080 Cadarache). Depuis 1990, ce matériau est à base de ciment (CEA-270 pour Valduc, CEA-1100 pour Marcoule, CEA-090 pour Cadarache jusqu'en 1993 puis CEA-050 depuis, et CEA-330 contenants des déchets métalliques et organiques « Pégase »).

Certains colis plus récents sont directement conditionnés sur les installations avant d'être expédiés vers leur site d'entreposage.

1.3.4.10 Colis de déchets solides d'exploitation moyennement irradiants, en fûts de 500 litres fabriqués sur le site du CEA/Cadarache (CEA-060, CEA-110, CEA-120 et CEA-440)

Cette famille regroupe les colis de déchets solides d'exploitation, de maintenance, d'assainissement ou de démantèlement du CEA, moyennement irradiants. Ces déchets sont conditionnés en fûts métalliques de 500 litres.

Ces déchets proviennent des différents centres du CEA (Fontenay aux Roses, Saclay, Cadarache, Valduc...) ; ils sont essentiellement constitués de matières métalliques, cellulosiques ou plastiques, de caoutchouc, de plâtres, de peintures et de verreries.

Les premières productions remontent à 1970. Durant la période 1970-1990, le matériau de blocage était à base d'un mélange de ciment et de bitume (CEA-110). Depuis 1990, ce matériau est uniquement constitué de ciment. Parallèlement, le fût a lui aussi évolué ; d'abord constitué d'acier non allié (CEA- 120 produits de 1990 à 1994), il est en acier inoxydable depuis 1994 (CEA-060 pour la production en cours et CEA-440 correspondants à une production future envisagée pour bloquer des déchets divers non compactables d'exploitation de CABRI, de démantèlement de Rapsodie, etc.).

1.3.4.11 Coques en béton (1 800 ou 1 000 litres) de déchets solides cimentés (ciment ou ciment-bitume) du CEA/Cadarache (CEA-290, CEA-300 et CEA-310)

Cette famille regroupe des colis anciens de déchets de maintenance ou de démantèlement d'anciennes installations. Il s'agit :

- de colis en béton de 1 800 litres (tronconiques ou cylindriques) produits sur la station de traitement des déchets solides du CEA Cadarache, contenant des déchets solides bloqués dans un matériau (à base de ciment entre 1964 et 1969 – CEA-290 - et à base d'un mélange ciment-bitume entre 1975 et 1987 – CEA-300) ;
- de colis en béton de 1 000 litres (produits à la station de traitement des effluents du CEA Cadarache) contenant, soit des déchets solides bloqués dans un matériau ciment-bitume (en 1979 et en 1981), soit des boues de filtration cimentées (de 1966 à 1970) – CEA-310.

En 1994, une grande partie de ces colis a été placée et bloquée dans des conteneurs en acier non allié.

1.3.4.12 Colis de boues et concentrats cimentés en fûts métalliques du CEA/Valduc (CEA-320)

Les colis de déchets décrits dans cette famille résultent du conditionnement des boues et des concentrats produits à la station de traitement des effluents de Valduc depuis 1984. Ces déchets ont été enrobés dans un matériau à base de ciment et conditionnés en fûts de 200 litres en acier inoxydable et en acier non allié. Cette production est terminée.

1.3.4.13 Conteneurs inox contenant des effluents radioactifs issus du recyclage du Pu du CEA/Valduc (CEA-340)

Le traitement de produits recyclables contenant du plutonium produit des effluents contenant de l'américium, du plutonium et de l'uranium. Ces effluents sont actuellement entreposés sur le site de Valduc. L'hypothèse retenue pour leur conditionnement est une vitrification dans une installation à construire sur le site de Valduc puis un conditionnement dans un conteneur standard du type de ceux utilisés sur le site de La Hague. Les déchets vitrifiés ainsi produits seront de faible thermicité, ce qui permet de les rattacher à la catégorie MA-VL.

1.3.4.14 Colis « blocs sources » entreposés au CEA/Cadarache (CEA-450)

Cette famille regroupe des colis constitués à partir de sources scellées usagées (solides, liquides ou gazeuses), qui ont été collectées auprès des petits producteurs de déchets (hôpitaux, industries agro-alimentaires, papeteries, industries pétrochimiques...) et qui contiennent des substances radioactives de natures, d'activités et de périodes très diverses. Ces sources ont été livrées au centre de stockage de la Manche entre les années 1972 et 1985 et y ont été conditionnées en conteneurs en béton. En 1994, avant la fermeture de ce centre de stockage, ces colis, qui ne satisfaisaient pas aux spécifications pour y être stockés, ont été transférés au centre CEA de Cadarache pour entreposage. Avant leur transfert, ces colis en béton ont été reconditionnés en conteneurs en acier non allié.

1.3.4.15 Colis de déchets bitumés produits depuis janvier 1995 du CEA/Marcoule (CEA-1000 et CEA-1010)

Le procédé de traitement de la station de traitement des effluents liquides (STEL) de Marcoule consiste à bitumer les effluents. Depuis le démarrage de la STEL en 1966, les procédés de traitement physico-chimique et de conditionnement ont évolué en fonction des effluents à traiter.

En 1995, un « suivi qualité produit » a été mis en place. La présente famille regroupe l'ensemble des colis de déchets bitumés produits depuis cette date (le chapitre suivant traite le cas des colis produits antérieurement). Une partie de ces colis est conditionnée dans des fûts en acier non allié (CEA-1010), l'autre (depuis 1996) dans des fûts en acier inoxydable (CEA-1000).

Dans le scénario retenu actuellement par le CEA, lors des opérations de reprise et préalablement à leur expédition vers l'installation de stockage Cigéo, ces colis seront placés dans des surfûts de type EIP de 380 L.

1.3.4.16 Colis de déchets bitumés produits avant janvier 1995 du CEA/Marcoule (CEA-1020)

La présente famille regroupe l'ensemble des colis de déchets bitumés produits à la STE de Marcoule entre 1966 et la mise en place du « suivi qualité produit » en 1995. Ces colis sont conditionnés dans des fûts en acier non allié. Dans le scénario retenu actuellement par le CEA, lors des opérations de reprise et préalablement à leur expédition vers l'INB Cigéo, ces colis sont placés dans des surfûts de type EIP de 380 L.

Un nombre conséquent de colis (plus de 10 000 colis) a déjà fait l'objet d'opérations de reprise consistant à les placer en surfûts en acier inoxydable.

1.3.4.17 Fûts alpha 200 litres du CEA à reconditionner en 500 litres (CEA-1180)

Ces déchets alpha sont des déchets technologiques solides produits par l'installation UP1 et contaminés en émetteurs alpha purs. Les déchets ont été vinylés sous double enveloppe, conditionnés dans des fûts de 100 L ou de 118 L puis compactés sous la forme de galettes. Ces galettes sont conditionnées dans des fûts en acier noir ou acier inoxydable de 200 L et elles sont alors bloquées par du gravier et immobilisées par un coulis de mortier. Il est prévu de placer ces fûts de 200 L, de façon réversible, dans des coques béton de 500 L.

1.3.4.18 Déchets divers d'exploitation et de démantèlement du CEA (familles élémentaires CEA-400, CEA-410, CEA-420, CEA-430, CEA-460, CEA-480 et CEA-1200)

Ces familles regroupent les déchets qui sont ou seront produits par l'exploitation, l'assainissement et le démantèlement de certaines installations du CEA. Les déchets hors déchets vitrifiés entreposés dans le bâtiment 213 de l'APM ainsi que les déchets entreposés au bâtiment 211 de l'APM (CEA-1200) font partie de cette famille ainsi que les déchets d'exploitation de chaines blindées d'Atalante (CEA-480).

Les scénarios étudiés ont conduit le CEA à retenir les hypothèses suivantes pour l'inventaire de référence :

- les déchets irradiants ou contaminés en émetteurs alpha issus de l'exploitation ou du démantèlement de certaines installations des sites CEA de Marcoule, Grenoble (CEA-430), Saclay (CEA-410) et Cadarache (CEA-400) seront placés en conteneurs d'entreposage DIADEM et entreposés dans la future installation DIADEM (le conditionnement final restant à définir) ;
- les déchets d'exploitation d'Atalante (CEA-480) sont conditionnés dans l'atelier de conditionnement des déchets solides CDS de Marcoule dans un fût pré-bétonné de 223 litres.

1.3.4.19 Sources radioactives (CEA-1510)

Cette famille regroupe des sources scellées usagées fabriquées par le CEA. Il s'agit notamment de sources des générateurs isotopiques, diverses sources d'émetteurs alpha et bêta/gamma de faible activité dont les sources de détecteurs ioniques de fumée, des sources neutroniques ainsi que des sources bêta/gamma de forte activité issues d'appareils dits « indémontables ». Ces sources sont actuellement entreposées dans différentes installations du CEA dans l'attente de leur conditionnement en fûts de 870 litres prévu dans l'installation Chicade.

1.3.5 Les déchets de fonctionnement, et de démantèlement des nouvelles installations

1.3.5.1 Déchets du réacteur ITER (ITER-010 et ITER-020)

Les déchets d'ITER seront produits par le remplacement de composants lors de l'exploitation et par leur retrait après mise à l'arrêt définitif. On retient à ce stade l'hypothèse d'un conditionnement de ces déchets dans deux types de colis : pour moitié des déchets dans des fûts métalliques de 700 L (hypothèse présentée dans le cadre du projet d'entreposage des déchets tritiés – EDTSF ; ITER-010) et pour moitié dans un colis 1,43 m³ cubique optimisé et étudié avec l'Andra (ITER-020). Ces déchets se caractérisent principalement par leur contenu en tritium et en produits d'activation.

1.3.6 Les déchets collectés par l'Andra

Les déchets collectés ou à collecter par l'Andra comprennent notamment :

- des objets au radium à usage médical (ORUM), constitués d'aiguilles et de tubes métalliques de très petites dimensions. Le radium est incorporé sous une forme généralement soluble et pulvérulente (sulfates ou chlorures) ;
- des sources de détecteurs ioniques ;
- des sources de paratonnerres, à l'américium ou au radium ;
- des déchets de la défense : sources et objets contaminés au radium et au tritium ;
- des sources scellées usagées collectées par l'Andra, notamment dans le cadre de sa mission de service public.

L'hypothèse de conditionnement retenue pour ces déchets à ce stade par l'Andra est un conteneur 870 L.

Par ailleurs, l'Andra pourrait être amenée à collecter les quelques futs de silice contaminée au carbone 14 de la société Isotopchim, futs actuellement entreposés à Cadarache.

1.4 Le cas spécifique des colis de déchets bitumés

Les fûts de déchets bitumés MA-VL sont l'objet de questions relatives à leur tenue en stockage face à un incendie. À la suite de l'instruction du « Dossier d'options de sûreté » (DOS) du centre de stockage Cigéo (7, 8), l'ASN dans son avis rendu mi-janvier 2018 (9), considère qu'il y a des incertitudes concernant les comportements physico-chimique et thermique de ces colis en stockage, en particulier en situations incidentelle ou accidentelle conduisant à une élévation de température, et demande l'étude de deux voies de gestion :

- stockage de colis de déchets issus du traitement visant la neutralisation de la matrice bitumineuse des déchets ;

- ✓ nouvelles familles de déchets issues d'un procédé de traitement assurant la neutralisation de la réactivité chimique des colis de déchets bitumés en préalable à leur stockage ; plusieurs solutions ont été évaluées à ce jour : incinération-vitrification, combustion suivie d'un conditionnement par cimentation ou vitrification, vaporeformage suivi d'un conditionnement par cimentation. Ces colis sont exempts des spécificités des colis de déchets bitumés initiaux. L'hypothèse enveloppe retenue à ce stade consiste en la production de colis vitrifiés stockés dans l'INB Cigéo en alvéole MA-VL.

- stockage de colis de fûts de déchets bitumés en l'état (sans traitement préalable) ;
  - ✓ fûts de déchets bitumés selon les familles identifiées supra.

La conception et les études de sûreté associées sont flexibles aux deux voies possibles en l'attente de décision sur leur gestion ; ceci est présenté en détail au volume 11 du présent rapport dédié à la flexibilité de l'INB Cigéo.

1.5 Les colis prévus en Phase industrielle pilote

À ce stade, les colis prévus dans les ouvrages mis en service pendant la Phipil sont :

- des colis de déchets HA0 en conteneur de stockage cylindrique et en acier « noir » ;
- des colis de déchets MA-VL de type coque béton fibre (CBF-C'2) ;
- des colis de déchets MA-VL de type conteneurs standards de déchets compactés (CSD-C) ;
- des colis de déchets MA-VL de type coques et embouts cimentés (CEC) et conteneurs amiante ciment (CAC).

1.6 La connaissance des colis de déchets radioactifs

La connaissance des déchets et des colis primaires est fournie par les producteurs selon le processus de maîtrise de la connaissance qui est décrit au chapitre 6.1 du présent volume.

L'Andra analyse cette connaissance et l'intègre dans son socle de connaissances en vue des études de conception, de sûreté et d'impact environnemental de l'INB Cigéo. Sur la base de l'ensemble des connaissances, l'Andra établit en particulier des grandeurs caractéristiques pour le dimensionnement des structures et équipements de l'INB eu égard aux différentes conditions de fonctionnement (cf. Chapitre 4 du présent volume).

2

Les colis de stockage HA et MA-VL

2.1 Les colis de stockage HA 38
2.2 Les colis de stockage MA-VL 46

2.1 Les colis de stockage HA

2.1.1 Les types de colis de stockage HA

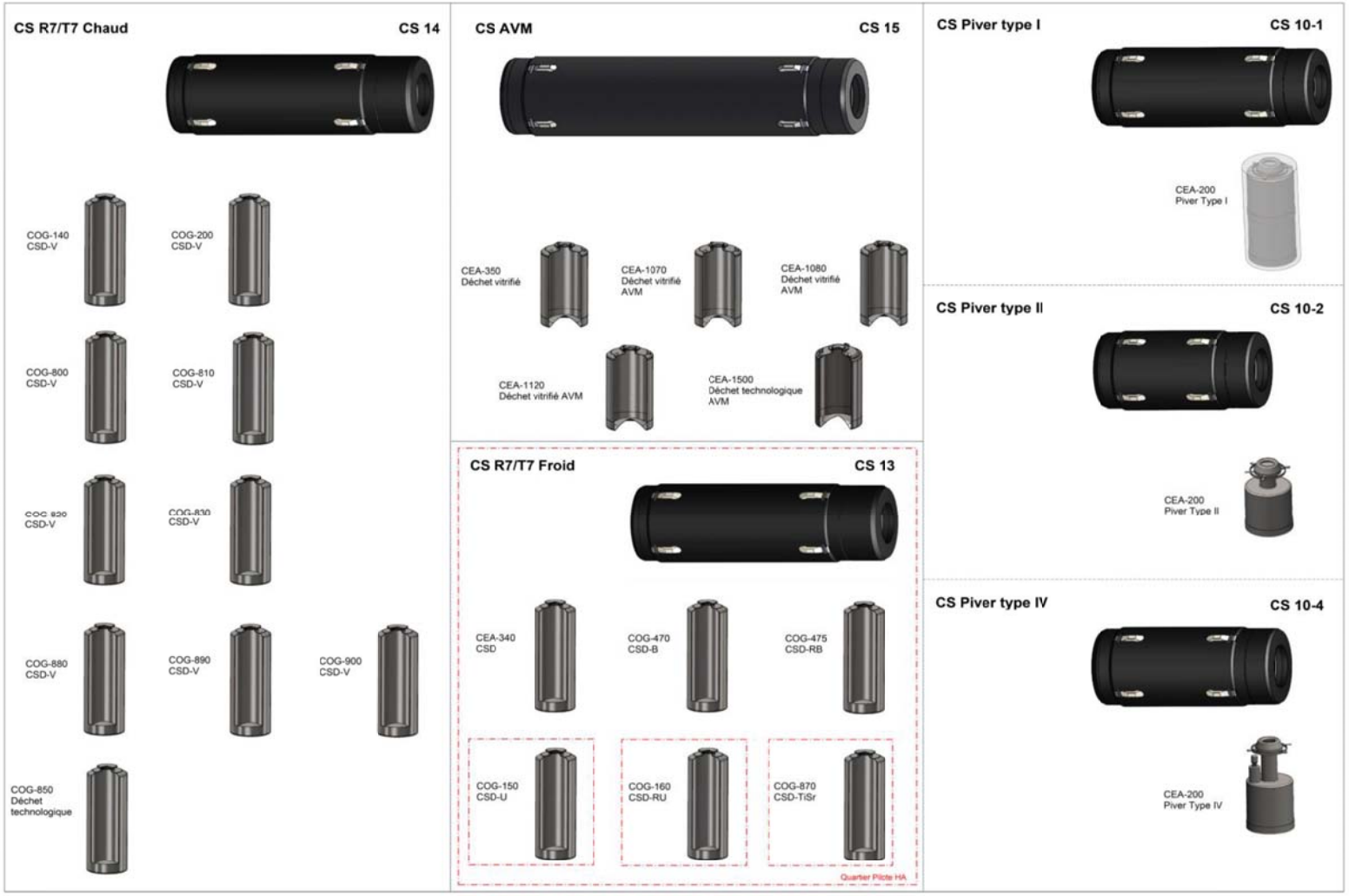
Les types de colis de stockage sont établis en fonction des familles de colis de déchets, en particulier en fonction de la géométrie des colis primaires. Les colis de stockage HA peuvent accueillir des colis primaires MA-VL vitrifiés. Ces colis de stockage sont retenus en tant qu'intercalaires des colis HA. Les colis primaires de déchets vitrifiés sont des conteneurs cylindriques relativement homogènes en termes de géométrie. Les conteneurs de stockage sont également cylindriques. Dans le cas général, le conteneur de stockage HA est dimensionné pour accueillir un colis primaire et pour quelques cas, deux colis primaires.

Les types de colis de stockage HA retenus sont présentés par la figure 2-1 ci-après. Le conteneur de type CS 13 et les familles de colis primaires encadrées en pointillé rouge sur cette même figure sont les colis prévus pour un stockage dans le quartier pilote HA.

Les colis de stockage HA présentés sur cette figure, et dans la suite de ce volume, répondent à une appellation définie et retenue dans les études d'avant-projet. Elle est reprise dans la présente version préliminaire du rapport de sûreté et dans tout le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) associé. Cette appellation correspond à une nomenclature de type « CS XX », CS pour colis de stockage et XX correspondant à un numéro d'ordre attribué lors des études de conception. Les numéros de CS vont de 10 à 15 pour les colis stockés en conteneurs de stockage HA. Pour mémoire, les numéros antérieurs concernent les conteneurs MA-VL.

Les déclinaisons d'aménagement interne du conteneur de stockage sont identifiées grâce à un chiffre supplémentaire après un « . ». Par exemple, le CS 10 figurant sur la figure 2-1 est décliné en trois aménagements internes différents numérotés CS 10-1, CS 10-2 et CS 10-4.

Les familles de colis primaires dont le conditionnement n'est pas défini à ce stade, devront respecter le plan spécificateur du conteneur auquel elles seront destinées et la masse associée.



CG-TE-D-MGE-AMOA-CS0-0000-18-0022-C (Sans cotes ni masses)

Figure 2-1 *Types de colis de stockage HA – en pointillé rouge sont identifiés les colis envisagés pour la mise en service de la Phipil*

2.1.2 Les fonctions du colis HA

Le tableau 2-1 ci-après précise les fonctions d'exploitation et de sûreté associées au colis primaire stocké en conteneur de stockage[2] HA (2e colonne) et au conteneur de stockage HA (4e colonne). La troisième et la cinquième colonne de ce tableau indiquent les caractéristiques associées. Les exigences associées[3], garantissant le respect des fonctions, sont précisées dans les spécifications préliminaires d'acceptation des colis pour les colis primaires (cf. Chapitre 5 du présent volume) et dans les futures spécifications de fabrication et les règles d'exploitation pour respectivement les conteneurs/colis de stockage.

Tableau 2-1 *Tableau des fonctions du colis de stockage HA et répartition entre le colis primaire et le conteneur de stockage*

	Colis primaire		Conteneur de stockage	
	Fonction	Caractéristique associée	Fonction	Caractéristique associée
Exploitation en fonctionnement normal et dégradé	Permettre la manutention lors des opérations en surface impliquant le colis primaire	Géométrie et masse	Permettre la manutention des colis de stockage lors des opérations de mise en stockage et lors d'éventuelles opérations de retrait	Géométrie, masse et durabilité
	Limiter la contamination surfacique à un niveau compatible avec le dimensionnement de l'installation	Niveau de contamination en radionucléides émetteurs alpha et béta-gamma		
	Assurer le confinement des substances radioactives à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'installation (1re barrière statique de confinement)	Confinement et durabilité durant la phase de fonctionnement	Assurer le confinement des substances radioactives à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'installation (2e barrière statique de confinement)	Confinement et durabilité durant la phase de fonctionnement
	Assurer la maîtrise du risque de criticité	Masse de matière fissile et géométrie	Assurer la maîtrise du risque de criticité[4]	Géométrie et durabilité

[2] Les colis de stockage HA peuvent accueillir des colis primaires MA-VL vitrifiés. Ces colis de stockage sont retenus en tant qu'intercalaires des colis HA.
[3] Ces exigences correspondent aux critères dans le cas des spécifications conformément à la décision conditionnement (10).
[4] Dans le cas où un conteneur de stockage HA contient plusieurs colis primaires HA.

	Colis primaire		Conteneur de stockage	
	Fonction	Caractéristique associée	Fonction	Caractéristique associée
	Limiter la puissance thermique à un niveau compatible avec la conception de l'installation et du conteneur de stockage	Puissance thermique		
	Limiter l'exposition à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation	Débit de dose du colis/activité en ^{137}Cs	Limiter l'exposition à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation	Débit de dose
	Limiter la production de gaz de radiolyse (H2) et de corrosion interne à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation	Production de gaz		
			Protéger le verre d'une augmentation de température pendant la constitution du colis de stockage	Opération de soudage et détensionnement
	Permettre l'identification du colis primaire à réception	Présence de marquage	Permettre l'identification du colis de stockage Permettre une identification durable du colis primaire contenu	Gravage des patins
Exploitation en situations incidentelles et accidentelles d'incendie et de choc (chute, collision)	Limiter la dispersion des substances radioactives à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'installation	Niveau de résistance à l'incendie et au choc (chute, collision)	Limiter la dispersion des substances radioactives à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'installation en cas de perte de la 1re barrière de confinement (colis primaire)	Niveau de résistance à l'incendie et au choc (chute, collision)

	Colis primaire		Conteneur de stockage	
	Fonction	Caractéristique associée	Fonction	Caractéristique associée
	Préserver la fonction de manutention	Intégrité des organes de manutention et de l'enveloppe	Préserver la fonction de manutention	Intégrité des organes de manutention et de l'enveloppe
	Préserver la fonction maîtrise du risque de criticité	Masse de matière fissile et géométrie	Préserver la fonction de maîtrise du risque de criticité	Géométrie – Limitation de la déformation
Après fermeture	Protéger les déchets de l'eau (*i.e.* Retarder l'arrivée de l'eau sur les déchets ; sous fonction de limiter le relâchement des substances radioactives et des substances toxiques chimiques et les immobiliser dans le stockage)	Matrice durable qui isole les déchets de l'eau (déchets HA vitrifiés)	Protéger les déchets de l'eau (*i.e.* Retarder l'arrivée de l'eau sur les déchets)	Étanchéité sur une durée suffisante pour respecter les exigences de décroissance radiologique et thermique des déchets vitrifiés
	Préserver les caractéristiques favorables des argilites du Callovo-Oxfordien et des autres composants impliqués dans la sûreté après fermeture	Limitation de la puissance thermique afin de préserver le Callovo-Oxfordien		
	Préserver les caractéristiques favorables des argilites du Callovo-Oxfordien et des autres composants impliqués dans la sûreté après fermeture	Masse de matière fissile		

2.1.3 La description du conteneur de stockage HA

Le choix du conteneur de stockage HA résulte d'un processus itératif depuis plusieurs années. Ce choix reste celui présenté dans le « Dossier d'options de sûreté » (7, 8). La solution technologique retenue, sa faisabilité et ses performances sont détaillées et justifiées dans le document cité en référence (11). Les éléments nécessaires à la démonstration de sûreté en exploitation (cf. Volume 9 du présent rapport) et après fermeture (cf. Volume 8 du présent rapport) sont repris ci-après.

Le corps du conteneur est constitué d'une virole cylindrique en acier non allié. Un fond et un couvercle, d'une épaisseur adaptée à l'épaisseur de la virole, réalisés dans la même nuance d'acier forgé pour répondre notamment à des exigences de sûreté long terme après fermeture (cf. Volume 8 du présent rapport), sont soudés au corps du conteneur.

Le matériau du conteneur de stockage HA est un acier non allié à bas carbone, en particulier pour le caractère prédictible de sa cinétique de corrosion généralisée en réponse notamment aux exigences de sûreté long terme après fermeture (cf. Volume 8 du présent rapport).

Afin de résister aux sollicitations chimiques, l'Andra retient en solution de référence un acier forgé à haute ductilité et recherche un bon niveau de propreté inclusionnaire, un bon niveau de pureté ainsi qu'une structure métallurgique favorable. La réduction du taux d'impuretés et d'inclusions limite, en effet, les sites d'initiation de fissures. La structure « ferrite-perlite » fine et homogène est peu fragile et peu sensible à la corrosion localisée et à la corrosion sous contrainte[5].

La figure 2-2 illustre le conteneur de stockage conçu pour les colis primaires de déchets vitrifiés produits par l'atelier R7/T7 de l'usine de La Hague.



Figure 2-2 *Illustration du conteneur de stockage dédié aux colis de déchets vitrifiés provenant des ateliers R7/T7 de l'usine de La Hague (familles COG-140, COG-200, etc.)*

La réponse aux autres sollicitations (thermique, mécanique...) en exploitation ainsi qu'aux situations accidentelles (chute/incendie) sont largement couvertes par la robustesse du conteneur du fait de son épaisseur. Elles ne sont pas susceptibles de l'altérer notablement pendant la période de fonctionnement.

Une gorge de préhension usinée dans le couvercle du conteneur de stockage permet la manutention (cf. Figure 2-2), en l'occurrence la mise en place et le retrait éventuel du colis de stockage sur une durée *a minima* séculaire.

Le matériau du patin est choisi pour son caractère inerte évitant ainsi le « collage par corrosion » du colis de stockage sur le chemisage.

[5] Sur la période d'exploitation de l'INB, il est considéré que les phénomènes de corrosion n'entraînent pas de corrosion sur une épaisseur supérieure à quelques millimètres.

La rugosité et le coefficient de frottement faibles des patins en céramique facilitent le retrait du colis de stockage. Les patins sont bloqués dans une rainure en forme de queue d'aronde et maintenus par une clavette soudée à une cale en forme de queue d'aronde. Chaque rainure en queue d'aronde est usinée dans la virole du conteneur.

La clavette et la cale sont en acier de nuance identique à celle du conteneur de stockage. La clavette assure le blocage en translation du patin. Le soudage de la cale sur la clavette fixe l'ensemble au colis de stockage et assure ainsi le maintien du patin lors des opérations de manutention du colis de stockage.

La fonction d'identification du colis est portée par le patin en céramique (cf. Figure 2-3) par nature non sensible à la corrosion à l'inverse des autres composants en acier du conteneur de stockage.



Figure 2-3 *Exemple de marquage par gravure sur un patin en céramique*

Les colis de stockage HA sont conçus pour résister à l'ensemble des sollicitations statiques et dynamiques auxquelles ils peuvent être soumis pendant toute la phase de fonctionnement, depuis la mise en conteneur jusqu'à leur stockage et leur retrait éventuel.

Les colis de stockage sont manutentionnés en position verticale ou horizontale, grâce à la gorge de préhension située dans la partie supérieure du couvercle. Les patins en céramiques facilitent quant à eux le retrait des colis de stockage.

L'épaisseur de la gorge de manutention et des patins en céramique permettent d'assurer la manutention des colis sur une durée séculaire, et ce même dans des conditions pénalisantes de corrosion.

La résistance de l'enveloppe et de la gorge de préhension du conteneur de stockage a été vérifiée. Les analyses ont notamment porté sur les contraintes mécaniques calculées pour les différentes sollicitations suivant les prescriptions du code de construction des appareils à pression (CODAP) et les règles préconisées par la fédération européenne de la manutention (FEM). L'utilisation de ce code et de ces règles qualifiées et reconnues améliore le niveau de confiance du dimensionnement (cf. « Dossier de justification de la conception des conteneurs de stockage des colis HA » (11)).

La surface supérieure du couvercle est chanfreinée dans le but initial de limiter la surface de contact entre colis de stockage dans l'alvéole, bien que dans la pratique, les colis HA seront le plus souvent espacés pour des questions de dimensionnement thermique de l'installation souterraine (cf. Volume 5 du présent rapport). Quoiqu'il en soit cette disposition limite le risque de collage entre deux colis de stockage.

Le caractère prédictible de la cinétique de corrosion de l'acier non allié retenu est rendu possible par le caractère codifié et normalisé des techniques d'élaboration et de contrôle du conteneur de stockage. Ces normes définissent les caractéristiques mécaniques, dimensionnelles et métallurgiques du conteneur de stockage. Elles garantissent que les moyens et méthodes utilisés pour la réalisation d'un conteneur de stockage sont reproductibles.

Vis-à-vis de la résistance à la chute, des essais de chutes de 5 mètres sur cible indéformable et de 1 mètre sur poinçon effectués sur maquette représentative d'un colis AVM biplace ont été réalisés. Des tests à l'issue ont montré que l'étanchéité à l'hélium était préservée après chaque chute (cf. Figure 2-4).



Figure 2-4 Essais de chute et tests de vérification d'étanchéité à l'hélium associés

Des essais de corrosion dans des milieux représentatifs de la vie du stockage ont également été réalisés. Ces essais visent à montrer que :

- la corrosion généralisée est le facteur prépondérant de corrosion ;
- la vitesse de corrosion moyenne est de l'ordre de 10 microns/an ;
- l'acier retenu n'est pas soumis à des phénomènes de corrosion sous contrainte ou localisée ;
- un rayonnement inférieur à 10 Gy/h n'entraine pas de corrosion des aciers.

Les évaluations réalisées sur le comportement post-flambement du chemisage montrent que le corps de conteneur de stockage reste dans son domaine élastique pendant une centaine à quelques centaines d'années après mise en contact avec le chemisage (cette mise en contact est évaluée à plus de 300 ans après la mise en stockage du colis).

2.1.4 La fabrication des conteneurs de stockage HA

Le procédé de fabrication retenu s'appuie sur des procédures d'approvisionnement, de dimensionnement et de construction codifiées, normalisées et contrôlables. Ces normes définissent les caractéristiques mécaniques, dimensionnelles et métallurgiques du conteneur. Elles garantissent que les propriétés des composants du colis sont reproductibles et constantes. Par ailleurs, le forgeage des composants du conteneur est suivi d'un traitement thermique de normalisation qui réduit les contraintes résiduelles et affine la structure. Ces conteneurs sont approvisionnés sur l'INB.

Le procédé de soudage du fond et du couvercle sur la virole du conteneur est le soudage sous vide par faisceau d'électrons prévu dans l'installation EP1 (cf. Volume 5 du présent rapport). L'environnement dans l'enceinte de soudage étant exempt d'air, tout échange gazeux avec la soudure est considéré comme nul. Par conséquent, les phénomènes d'oxydation et de fragilisation par l'hydrogène dans le métal fondu ainsi que la zone affectée thermiquement sont évitées. Les soudures en pleine pénétration sont réalisées radialement. L'intensité des contraintes résiduelles dans le conteneur (corps et couvercle) est limitée à un niveau aussi faible que possible par un traitement de détensionnement après chaque soudage (cf. Photo 1 de la figure 2-5). Après traitement, les duretés en tout point des joints soudés (ZAT, MF) n'excèdent pas la limite de 250 HV préconisée (NACE) pour améliorer sa résistance à la fragilisation par l'hydrogène. La propreté inclusionnaire de l'acier, notamment les teneurs réduites en carbone, soufre et en phosphore, favorise la bonne qualité des soudures.

Des tests ont été réalisés pour vérifier la pertinence de la solution technique proposée et la qualité des soudures du fond et du couvercle sur la virole du conteneur (cf. Photos 2 et 3 de la figure 2-5).



Figure 2-5 *Traitement de détensionnement thermique (photo 1) et tests de vérification de la qualité des soudures sur conteneurs HA (photos 2 et 3)*

Le soudage du fond sur la virole est effectué en usine. Le soudage du couvercle sur la virole est effectué dans le bâtiment nucléaire de surface après chargement des colis primaires.

Des contrôles sont prévus en usine ainsi qu'au cours du procédé nucléaire pour détecter un éventuel défaut.

Avant soudage, les contrôles suivants sont réalisés en usine sur chaque pièce pour s'assurer de leur conformité :

- examen visuel de chaque pièce forgée ;
- contrôle dimensionnel après usinage final ;
- contrôle par ultrasons à 100 % du volume.

Après soudage, en usine et dans le bâtiment nucléaire de surface, les contrôles suivants sont effectués :

- par ultrasons pour la détection d'éventuels défauts de type manque de fusion, fissures et cavités internes ;
- par courants de Foucault pour la détection d'éventuels défauts de surface.

Des contrôles sont également réalisés sur les patins en céramique afin de s'assurer de leur conformité (matière, géométrie, caractéristiques mécaniques).

2.2 Les colis de stockage MA-VL

Deux modes de stockage sont retenus pour le stockage des colis primaires de déchets MA-VL :

- le stockage de colis primaire directement en alvéole de stockage, qui concerne certaines familles de colis pour lesquelles le colis primaire satisfait aux fonctions attribuées à un colis de stockage avec un conteneur de stockage. Pour le stockage direct, deux sous-configurations sont possibles :
  - ✓ le stockage du colis primaire directement ;
  - ✓ le stockage du colis primaire en panier de stockage pour permettre la manutention de plusieurs colis primaires dans un même panier et donc limiter les flux de transfert.

- le stockage des colis primaires de déchets MA-VL après mise en conteneur de stockage dans l'installation nucléaire de surface Cigéo. Deux sous-configurations sont possibles :
  - ✓ le stockage en conteneur standard, avec couvercle vissé ;
  - ✓ le stockage en conteneur renforcé vis-à-vis du confinement, c'est-à-dire avec un couvercle vissé et clavé.

2.2.1 Les types de colis de stockage MA-VL

2.2.1.1 Colis primaires en stockage direct

Comme pour les colis HA (cf. Chapitre 2.1.1 du présent volume) et les colis primaires MA-VL stockés en conteneur (cf. Chapitre 0 du présent volume), les colis primaires en stockage direct répondent aussi à l'appellation « CS XX » définie et retenue dans les études d'avant-projet.

Dans le dossier de Demande d'autorisation de création (DAC), les familles considérées pour tout ou partie en mode de stockage direct sont définies selon trois catégories :

- les familles pour lesquelles, les éléments de connaissance (caractéristiques, comportement) et les éléments de démonstration de sûreté sont jugés suffisants. C'est le cas à ce stade des familles EDF conditionnées en C1PG^{SP}, des familles Orano conditionnées en CBFC'2 et CSD-C (catégorie MA-VL 5) et des familles CEA conditionnées en 500 L FI ;
- les familles pour lesquelles l'Andra a la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté nucléaire sera confirmée au moment de la mise à jour du rapport de sûreté établie en vue de la mise en service de la partie concernée de l'INB. C'est le cas à ce stade des familles CEA conditionnées en 870 L ;
- les familles de colis pour lesquelles le conditionnement est à définir (c'est-à-dire l'ensemble des colis ayant un état de production identifié avec un code « AD » cf. Chapitre 1.1.4 du présent volume) et sous réserve que leur conditionnement au moment de la demande d'avis (cf. Décision relative au conditionnement des déchets (10)) réponde aux critères spécifiés pour les colis de déchets MA-VL relevant du mode de stockage direct.

Les colis primaires stockés directement avec ou sans panier, prennent les numéros allant de 21 à 27 :

- CS 21 : C1PG^{SP} ;
- CS 22 : CSD-C ;
- CS 23 : CBF-C'2 ;
- CS 24 : 870 L FI et 870 L FI EXT ;
- CS 25 : éventuellement CEA-1060 en conditionnement de type CS2 mi-hauteur ;
- CS 26 : 500 L FI ;
- CS 27 : éventuellement CEA-1040, CEA-1050, CEA-1090, CEA-1151 et CEA-1152 en conditionnement de type CS2.

Au titre de la flexibilité, un conteneur de stockage est prévu pour les familles éligibles au stockage direct.

La mise en œuvre de ce mode de stockage est prévue dès la mise en service de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo pendant la Phipil au sein des premiers alvéoles de stockage MA-VL pour les familles Orano conditionnées en CSD-C et en CBFC'2.

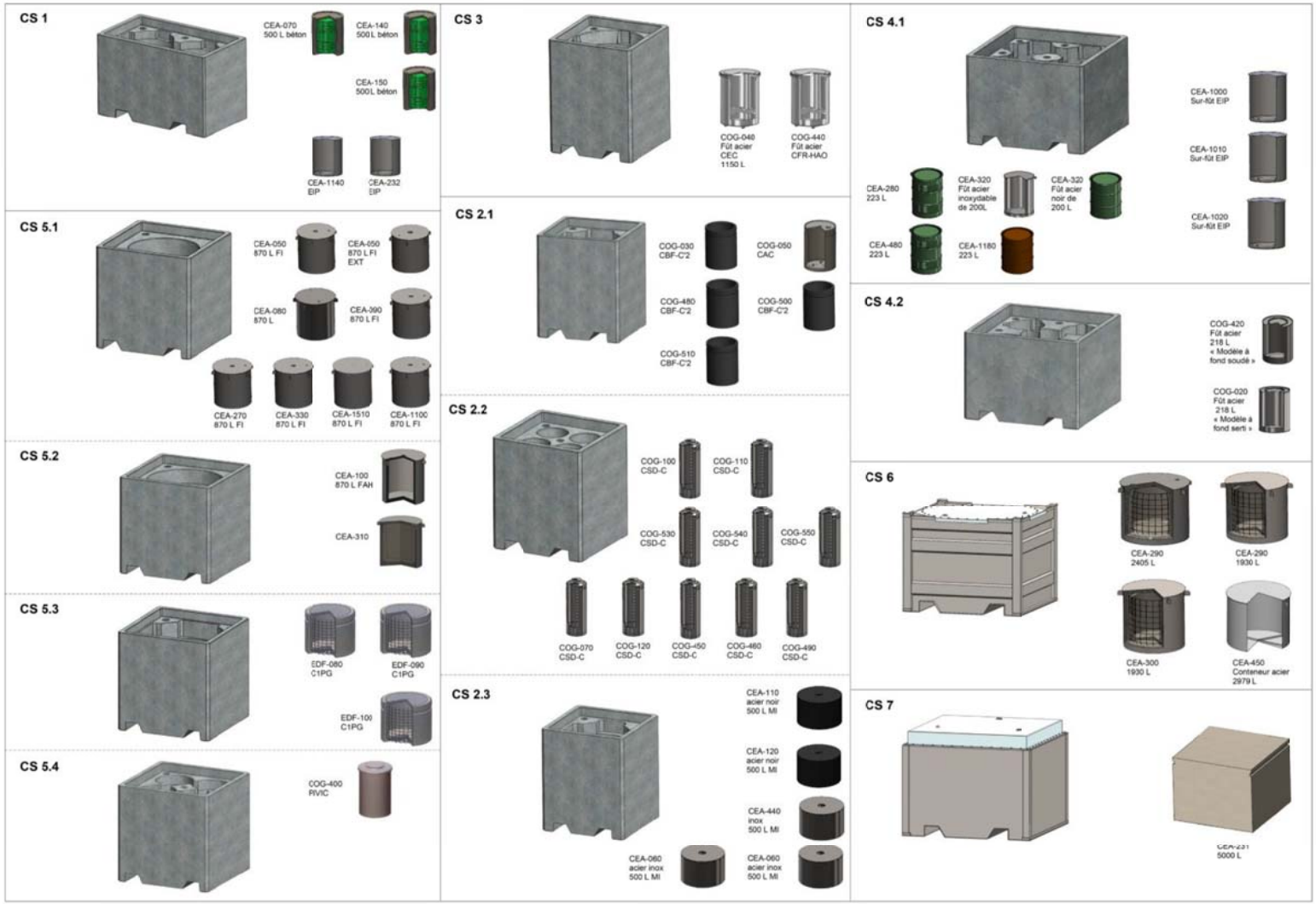
2.2.1.2 Colis primaires mis dans un conteneur de stockage

Un très grand nombre et une grande diversité des familles de colis de déchets MA-VL seront accueillis sur l'INB Cigéo. Le choix de regrouper l'ensemble des familles dans un nombre limité de conteneurs permet de réduire le nombre de dispositifs pour mener les opérations de manutention des colis aussi simplement que possible. Cela permet également de « standardiser » les moyens d'automatisation du processus de mise en stockage.

La figure 2-6 ci-après présente les conteneurs de stockage retenus et les familles de colis primaires de déchets qui leurs ont été associées sur la base de la géométrie et de la masse de ces derniers.

Comme pour les colis HA (cf. Chapitre 2.1.1 du présent volume), les colis de stockage MA-VL présentés sur cette figure, et dans la suite de ce volume, répondent à une appellation de type « CS XX », CS pour colis de stockage et XX correspondant à un numéro d'ordre attribué lors des études de conception.

Les déclinaisons d'aménagement interne du conteneur de stockage sont identifiées grâce à un chiffre supplémentaire après un « . ». Par exemple, le CS 2 figurant sur la figure 2-6 est décliné en quatre aménagements internes différents numérotés 2.1 à 2.4.



CG-TE-D-MGE-AMOA-CS0-0000-18-0021-F (Sans cotes ni masses)

Figure 2-6 Types de colis de stockage MA-VL

2.2.2 Les fonctions du colis MA-VL

Les fonctions du colis de stockage MA-VL sont synthétisées dans le tableau 2-2 ci-après en distinguant les fonctions portées par le colis primaire et le conteneur de stockage en cas de stockage en conteneur de stockage (colonnes 2 et 4) et les fonctions portées par le colis primaire en stockage direct (colonne 6).

Les colonnes 3, 5 et 7 de ce tableau présentent les caractéristiques auxquelles se rattachent les fonctions retenues. Les exigences[6] associées, garantissant le respect des fonctions, sont précisées dans les spécifications d'acceptation des colis pour les colis primaires (cf. Chapitre 5 du présent volume) et dans les futures spécifications de fabrication et les règles d'exploitation pour respectivement les conteneurs/les colis de stockage.

[6] Ces exigences correspondent aux critères dans le cas des spécifications conformément à la décision relative au conditionnement des déchets (10).

Tableau 2-2 *Tableau des fonctions du colis de stockage MA-VL et répartition entre le colis primaire et le conteneur de stockage (par extension le colis de stockage, une fois fermé)*

	Colis de stockage constitué d'un ou plusieurs colis primaires et d'un conteneur de stockage				Colis primaire directement en stockage direct	
	Fonctions du colis primaire	Caractéristiques associées	Fonctions du conteneur de stockage (CTS)	Caractéristiques associées	Fonctions	Caractéristiques associées
Exploitation en fonctionnement normal et dégradé	Permettre la manutention lors des opérations en surface	Géométrie et masse	Permettre la manutention des colis de stockage lors des opérations de mise en stockage et lors d'éventuelles opérations de retrait	Géométrie, masse et durabilité des matériaux	Permettre la manutention lors des opérations en surface et en souterrain (mise en stockage, éventuel retrait)	Géométrie, masse et durabilité des matériaux
	Limiter la contamination surfacique à un niveau compatible avec le dimensionnement de l'installation	Niveaux de contamination en alpha et béta-gamma			Limiter la contamination surfacique à un niveau compatible avec le dimensionnement de l'installation	Niveaux de contamination en radionucléides émetteurs alpha et béta-gamma
	Assurer le confinement des substances radioactives non gazeuses (1re barrière statique de confinement) sur toute la durée de la phase de fonctionnement	Confinement et durabilité durant la phase de fonctionnement	Pour le conteneur de stockage renforcé vis-à-vis du confinement : Assurer le confinement des substances radioactives non gazeuses à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la conception de l'alvéole MA-VL sur la durée de l'exploitation		Assurer le confinement des substances radioactives non gazeuses (1re barrière statique de confinement) sur toute la durée de la phase de fonctionnement	Confinement et durabilité durant la phase de fonctionnement
	Assurer la maîtrise du risque de criticité	Masse de matière fissile Géométrie du colis	Assurer la maîtrise du risque de criticité	Géométrie Durabilité du colis	Assurer la maîtrise du risque de criticité	Masse de matière fissile Géométrie du colis Durabilité du matériau

	Colis de stockage constitué d'un ou plusieurs colis primaires et d'un conteneur de stockage				Colis primaire directement en stockage direct	
	Fonctions du colis primaire	Caractéristiques associées	Fonctions du conteneur de stockage (CTS)	Caractéristiques associées	Fonctions	Caractéristiques associées
	Limiter la production de gaz de radiolyse (H_2) et de corrosion interne à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation	Production d'H_2	Permettre l'évacuation des gaz émis par le colis primaire pour éviter les risques d'explosion interne au colis	Perméabilité du conteneur au gaz	Limiter la production de gaz de radiolyse et de corrosion interne à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation	Production d'H_2
	Limiter la puissance thermique à un niveau compatible avec la conception de l'installation et du conteneur de stockage	Puissance thermique			Limiter la puissance thermique à un niveau compatible avec la conception de l'installation	Puissance thermique
	Limiter l'exposition à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation	Débit de dose gamma et neutron			Limiter l'exposition à un niveau compatible avec la conception et l'exploitation	Débit de dose gamma et neutron
	Permettre l'identification du colis de stockage	Présence de marquage	Permettre l'identification	Marquage durable	Permettre l'identification	Marquage durable
			Permettre le gerbage des colis de stockage dans l'alvéole	Tenue au gerbage	Permettre le gerbage des colis dans l'alvéole	Tenue au gerbage[7]
Exploitation **Situations incidentelles et accidentelles d'incendie et de**	Limiter la dispersion des particules et aérosols à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la	Niveau de résistance à la chute et à la collision Capacité de rétention du colis primaire	Protéger le colis primaire des sollicitations thermiques et mécaniques	Niveau de résistance à l'incendie, la chute et la collision	Limiter la dispersion des particules et aérosols à un niveau de performance acceptable vis-à-vis de la	Niveau de résistance à l'incendie, la chute et la collision Capacité de rétention du colis

[7] Lorsque le colis est placé dans un panier, la fonction de gerbage est reprise par le panier.

	Colis de stockage constitué d'un ou plusieurs colis primaires et d'un conteneur de stockage				Colis primaire directement en stockage direct	
	Fonctions du colis primaire	Caractéristiques associées	Fonctions du conteneur de stockage (CTS)	Caractéristiques associées	Fonctions	Caractéristiques associées
chute et de collision Problématique de défaillance du colis	conception de l'installation		Atténuer la dispersion des particules et aérosols le cas échéant	Capacité de rétention du conteneur Tenue au vieillissement	conception de l'installation	Tenue au vieillissement
	Préserver la fonction de maîtrise du risque de criticité en situation incidentelle	Masse de matière fissile Tenue mécanique	Assurer la maîtrise du risque de criticité en situation incidentelle	Tenue mécanique	Préserver la fonction de maîtrise du risque de criticité en situation incidentelle	Masse de matière fissile Tenue mécanique
	Préserver la fonction de manutention avant mise en conteneur de stockage	Niveau de résistance à la chute et la collision.	Préserver la fonction de manutention	Niveau de résistance à l'incendie, la chute et la collision. Tenue au vieillissement	Préserver la fonction de manutention	Niveau de résistance à l'incendie, la chute et la collision Tenue au vieillissement
Après fermeture	Préserver les caractéristiques favorables des argilites du Callovo-Oxfordien et des autres composants impliqués dans la sûreté après fermeture	Limitation de la puissance thermique afin de préserver le Callovo-Oxfordien			Préserver les caractéristiques favorables des argilites du Callovo-Oxfordien et des autres composants impliqués dans la sûreté après fermeture	Limitation de la puissance thermique afin de préserver le Callovo-Oxfordien
	Préserver les caractéristiques favorables des argilites du Callovo-Oxfordien et des autres composants	Catégorisation des déchets MA-VL en fonction de la présence de substances susceptibles de modifier les conditions de			Préserver les caractéristiques favorables des argilites du Callovo-Oxfordien et des autres composants	Catégorisation des déchets MA-VL en fonction de la présence de substances susceptibles de modifier les conditions de

	Colis de stockage constitué d'un ou plusieurs colis primaires et d'un conteneur de stockage				Colis primaire directement en stockage direct	
	Fonctions du colis primaire	Caractéristiques associées	Fonctions du conteneur de stockage (CTS)	Caractéristiques associées	Fonctions	Caractéristiques associées
	impliqués dans la sûreté après fermeture	transport et rétention du Callovo-Oxfordien			impliqués dans la sûreté après fermeture	transport et rétention du Callovo-Oxfordien
	Préserver les caractéristiques favorables des argilites du Callovo-Oxfordien et des autres composants impliqués dans la sûreté après fermeture	Masse de matière fissile			Préserver les caractéristiques favorables des argilites du Callovo-Oxfordien et des autres composants impliqués dans la sûreté après fermeture	Masse de matière fissile
	Limiter le relâchement des substances radioactives et des substances toxiques chimiques et les immobiliser dans le stockage	Nature du déchet			Limiter le relâchement des substances radioactives et des substances toxiques chimiques et les immobiliser dans le stockage	Nature du déchet

2.2.3 La description du conteneur de stockage MA-VL

Le choix du conteneur de stockage MA-VL résulte d'un processus itératif depuis plusieurs années. Ce choix reste celui présenté dans le Dossier d'options de sûreté (7, 8). La solution technologique retenue, sa faisabilité et ses performances, sont détaillées et justifiées dans le présent document. Les éléments nécessaires à la démonstration de sûreté en exploitation (cf. Volume 9 du présent rapport) et après fermeture (cf. Volume 8 du présent rapport) sont repris ci-après.

Les conteneurs de stockage MA-VL sont de forme parallélépipédique. Ils sont constitués d'un corps et d'un couvercle vissé. Ils présentent des réservations ajustées à la géométrie des colis primaires et des moyens de manutention associés. Les conteneurs de type CS 1 à CS 5 sont constitués d'éléments préfabriqués en béton armé (cf. Figure 2-7). Les conteneurs de type CS 6 et CS 7 sont des conteneurs en acier.

Pour les conteneurs en béton, la solution technique retenue est l'utilisation d'éléments préfabriqués en béton armé principalement constitués d'un corps et d'un couvercle vissé. Une réservation à l'interface entre le corps du conteneur et le couvercle permet la mise en place d'un liant de clavage dans le but de renforcer le confinement. La figure 2-7 ci-après illustre le cas d'un conteneur de type « vissé ».

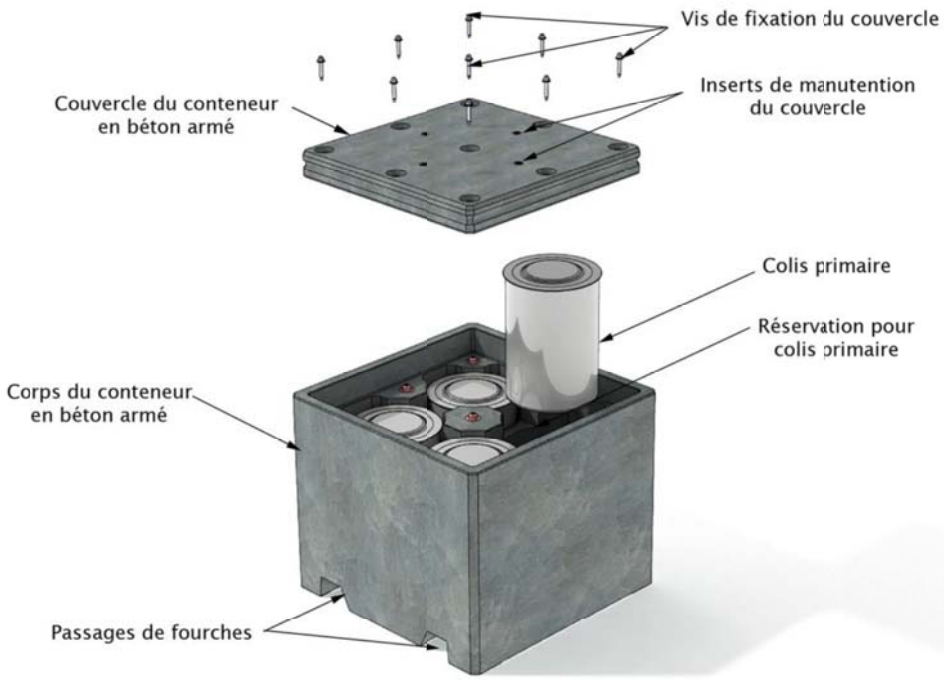


Figure 2-7 Conteneur de stockage MA-VL de type CS 4.1 à couvercle vissé

Les études menées pour déterminer la composition de béton retenue pour les conteneurs MA-VL ont abouti à la définition de formulations de béton situées dans la gamme des bétons hautes performances (BHP) avec un rapport eau sur ciment faible. Le choix de cette formulation est surtout associé au besoin de durabilité dans le temps des colis en alvéole de stockage. Des fibres de polypropylène ont été ajoutées à la formulation pour améliorer la résistance du béton au phénomène d'éclatement sous l'effet d'un incendie des conteneurs utilisés pour le stockage des fûts de déchets bitumés en l'état.

Le conteneur préfabriqué comprend des passages de fourches afin de permettre sa manutention. Concernant les dimensions des passages de fourches, deux configurations couvrent l'ensemble des modèles de conteneurs pour favoriser la standardisation des équipements de manutention ainsi que l'automatisation.

La masse maximale des colis de stockage MA-VL (colis primaire + conteneur de stockage ou colis primaire en stockage direct) est de 17 tonnes en lien avec le dimensionnement mécanique des équipements de manutention.

Concernant l'identification des colis de stockage, la solution technique de marquage retenue est le marquage avec de la peinture, sur les quatre faces latérales et sur le couvercle. Les marquages impliquant un perçage du béton sont exclus.

La première barrière de confinement est assurée par le colis primaire. Un liant de clavage pourra, le cas échéant, être injecté dans l'interstice résiduel entre le corps du conteneur et le couvercle pour limiter la dispersion des substances radioactives pour certains colis pour lesquels la garantie du maintien du confinement du colis primaire sur la durée d'exploitation n'est pas assurée. Avec cet aménagement, le conteneur de stockage (par extension, le colis de stockage, une fois conditionné) assure la fonction de sûreté « confinement » *a minima* en redondance avec les colis primaires ou *a maxima* en remplacement dès qu'un des colis primaires contenus perd les performances associées à cette fonction.

Le conteneur de stockage permet l'évacuation des gaz de radiolyse des colis primaires préférentiellement par le jeu existant entre le couvercle et le corps du conteneur. Les simulations et essais menés sur les solutions étudiées montrent que la mise en place d'un liant de clavage n'empêche pas cette fonction d'évacuation car la formulation du liant est suffisamment perméable au gaz pour permettre son évacuation.

La tenue au gerbage n'est pas dimensionnante vis-à-vis de la classe de béton à retenir ou de l'épaisseur du conteneur. La maîtrise des transferts de charge d'un conteneur sur l'autre, et en particulier de la localisation des descentes de charge, a été spécifiquement étudiée et les zones de contact entre deux conteneurs sont bien identifiées et dimensionnées à cet effet. Pour éviter un transfert de charge par le couvercle, une épaisseur de retrait du couvercle par rapport au plan de pose du haut du corps du conteneur (de l'ordre de 15 mm) est retenue. La figure 2-8 ci-après montre les zones de contact en question (pieds de conteneur).



Figure 2-8 Pieds des conteneurs lors du coulage et sur un prototype échelle 1

Lors des opérations de manutention des colis en fonctionnement normal, la formulation de béton retenue pour la fabrication du conteneur permet de répondre aux sollicitations nécessaires à leur manipulation (transfert, dépose, retrait).

Vis-à-vis de la chute, le dimensionnement des conteneurs de stockage MA-VL en béton a été réalisé au moyen des référentiels normatifs en vigueur (Eurocode 2, 1992 (12)), à l'aide de simulations numériques et d'essais réalisés sur des prototypes échelle 1 (cf. Figure 2-8 et figure 2-9).

Les inserts intégrés au couvercle et au corps du conteneur, spécialement conçus pour constituer un système d'anti-cisaillement en cas de chute, ont montré leur efficacité lors des essais à l'échelle 1. La hauteur de chute maximale pour le dimensionnement mécanique de l'ensemble des modèles de conteneur de stockage est prise de manière enveloppe à 2,3 mètres pour les conteneurs en béton armé et 1,5 mètre pour les conteneurs en acier, sans retournement (chute à plat sur fond, chute sur coin, sur arête et avec fouettement). La manutentionnabilité après chute est vérifiée pour l'ensemble des modèles.

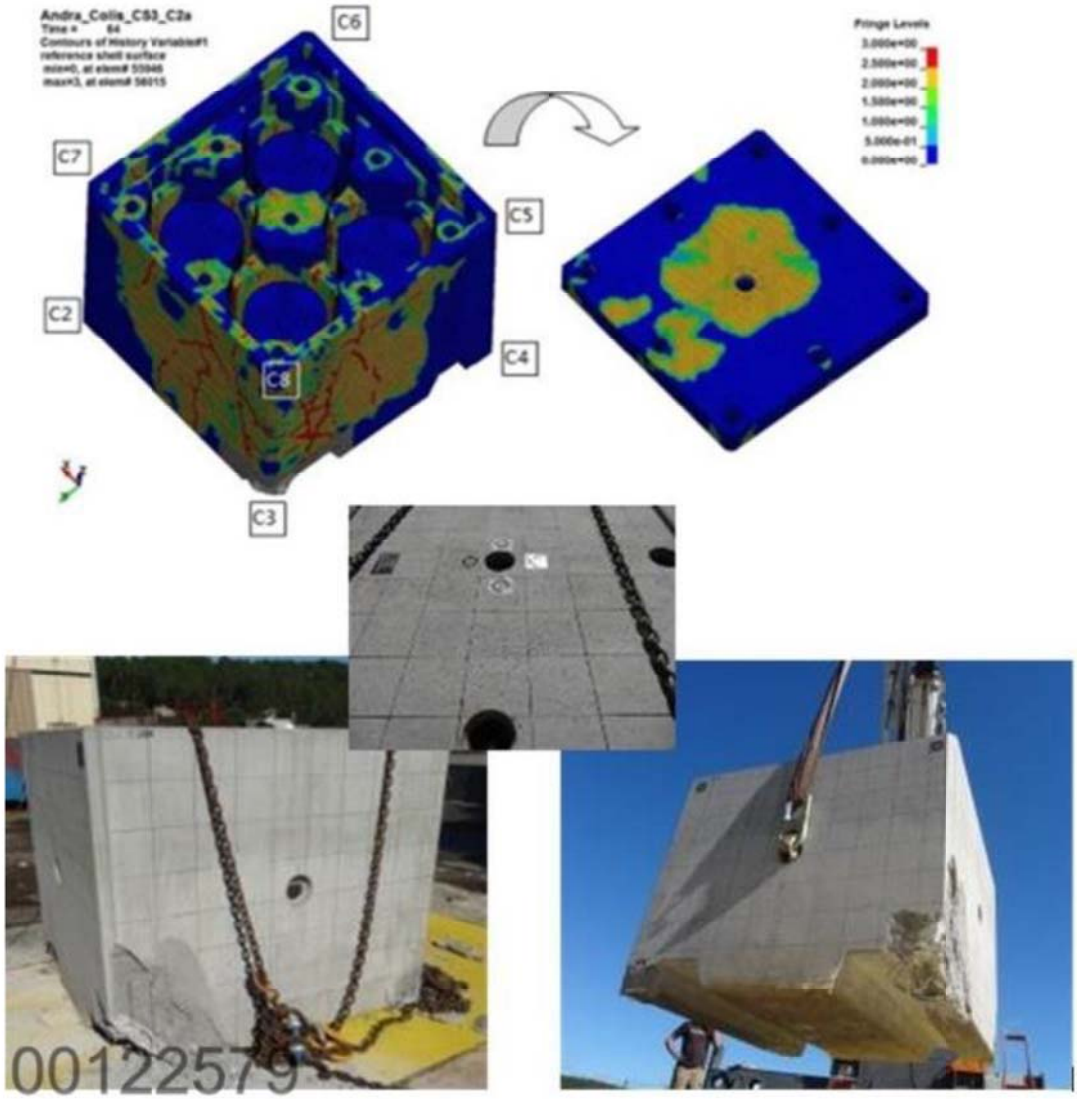


Figure 2-9 *Illustration des résultats de tenue à la chute d'un conteneur CS 4 après une chute sur coin de 2,3 mètres (résultats de simulations numériques et résultats d'essai sur prototypes échelle 1)*

La formulation du béton est retenue de telle sorte que la manutention des colis de stockage reste assurée après un éventuel incendie. À ce stade, le feu de référence pris en compte dans le dimensionnement des conteneurs de stockage en béton est un feu ISO 834-1/A1 de 2012 (13) pendant une heure. Pour les conteneurs dédiés au stockage des fûts de déchets bitumés en l'état, la formulation de béton (avec des fibres polypropylènes pour limiter le phénomène d'éclatement sous l'effet de la chaleur) et l'épaisseur des parois de béton (épaisseur adaptée) permettent d'assurer une protection thermique (respect du critère de température à la surface du colis primaire en cas d'incendie).



Figure 2-10 *Conteneur de type CS 4 instrumenté, fermé et clavé, pour essai feu ISO 834 - 1/A1 de 2012 (13), illustration de l'état d'un prototype échelle 1 avant et après essai*

Vis-à-vis de l'évolution dans le temps des colis une fois stockés en alvéole, la durabilité importante visée pour les conteneurs de stockage implique que le béton soit résistant à toute forme d'agression chimique interne (provenant des déchets) et externe (provenant de l'environnement). Cette résistance est obtenue par les choix retenus en termes de conception, fabrication des conteneurs et d'approvisionnements en matières premières. La justification de la durabilité des conteneurs de stockage repose en effet sur l'ensemble suivant :

- l'utilisation de bétons hautes performances qui se traduit par une teneur en ciment élevée et une teneur en eau réduite permettent de limiter les vides internes au matériau, ce qui est favorable vis-à-vis des résistances mécaniques et des propriétés de transfert et améliore ainsi la résistance dans le temps ;

- les choix de matières premières : les matières premières associées sont sélectionnées spécifiquement sur la base de recommandations de la profession et du retour d'expérience acquis par l'Andra sur le comportement des matériaux cimentaires dans les conditions d'environnement attendues en alvéole ; le choix s'est, en l'occurrence, porté sur un ciment composé (contenant des cendres volantes et du laitier), résistant aux sulfates et sur des granulats non réactifs à l'alcali-réaction ;
- la mise en œuvre du béton autour des armatures ; une épaisseur d'enrobage nominale de 40 mm a été définie pour se prémunir de la corrosion des armatures en phase de fonctionnement.

Enfin, la qualité du matériau permet également de ralentir la pénétration des agents agressifs. Les classes d'environnement prises en compte sont la XA2 au regard des risques liés aux attaques chimiques et la XC1 au regard des risques liés à la carbonatation.

2.2.4 La fabrication des conteneurs de stockage MA-VL

La fabrication des conteneurs se fait en dehors du centre de stockage Cigéo. Des essais ont été réalisés pour mettre au point les formulations (cf. Figure 2-11 et figure 2-12) et réaliser le développement de prototypes permettant de vérifier la faisabilité en conditions industrielles de la solution technique retenue.



Figure 2-11 *Caractérisation de l'étalement de la formule de référence (cf. « Dossier de justification de la conception du conteneur de stockage des colis MA-VL » (14))*



Figure 2-12 Illustration des étapes de fabrication de prototypes CS 3, CS 2 et CS 4

Après fabrication d'un conteneur en béton armé, un temps de maturation est observé avant sa sortie d'usine (plusieurs mois) de manière que les réactions d'hydratation du ciment soient finalisées et que le béton ait atteint une résistance mécanique suffisante.

Des contrôles sont prévus en usine avant livraison. Le contrôle qualité en usine comportera :

- des contrôles de la qualité des matières premières utilisées ;
- des mesures de la résistance mécanique et du retrait sur éprouvettes ;
- des contrôles de la géométrie ;
- des vérifications de la qualité du parement avec des critères d'acceptation en termes de bullage, de défauts de surface et l'absence d'éclat ou d'épaufrure.

3

Les inventaires radiologiques et en substances toxiques chimiques des colis de déchets HA et MA-VL

3.1 Les inventaires radiologiques 62
3.2 Les inventaires en substances toxiques chimiques 68

Les inventaires radiologiques et en substances toxiques chimiques des colis de déchets HA et MA-VL constituent des données d'entrées pour le dimensionnement de l'installation (en particulier le dimensionnement des équipements de radioprotection), pour les évaluations de sûreté (risque de dissémination pendant la phase de fonctionnement, évaluation de l'impact des scénarios de sûreté long terme après fermeture par exemple).

3.1 Les inventaires radiologiques

3.1.1 Les données d'entrée et les hypothèses

L'inventaire radiologique est déclaré dans les dossiers de connaissances par les producteurs pour 144 radionucléides caractérisés par leur période radioactive. Ils se répartissent ainsi en :

- 44 radionucléides (31 %) avec une période radioactive inférieure à 6 ans ;
- 16 radionucléides (11 %) avec une période radioactive comprise entre 7 et 31 ans ;
- 84 radionucléides (58 %) avec une période radioactive supérieure ou égale à 31 ans.

Ces inventaires radiologiques par famille de colis de déchets sont intégrés dans le socle de connaissances sous la forme suivante :

- un inventaire moyen : activités nominales pour chaque radionucléide correspondant à la moyenne des activités évaluées pour ce radionucléide au sein d'un ensemble de colis ;
- un inventaire maximal : cet inventaire est présenté par le producteur de plusieurs façons :
  - ✓ soit des activités maximales pour chaque radionucléide ;
  - ✓ soit un facteur de variabilité autour de la valeur moyenne pour chaque radionucléide (ce facteur permet de définir une activité maximale).

De façon à harmoniser les inventaires dont les dates de déclaration sont nécessairement différentes, ils sont vieillis jusqu'à une date unique définie pour les différents besoins, pour la démonstration de sûreté en phase de fonctionnement et pour les évaluations de sûreté après-fermeture.

3.1.2 La démarche pour la construction de l'inventaire radiologique retenu pour le dimensionnement de l'INB et pour les études de sûreté pour la phase de fonctionnement

Les inventaires radiologiques sont établis de la manière suivante :

- lorsqu'un inventaire radiologique maximal est disponible :
  - ✓ pour une famille de colis dont la production est terminée, l'inventaire radiologique maximal considéré est décru de sa dernière date de déclaration jusqu'à la date de mise en stockage (définie précédemment) ;
  - ✓ pour une famille de colis dont la production de colis est en cours ou future, l'inventaire radiologique maximal « sans décroissance » est considéré ;
- dans le cas où l'inventaire radiologique maximal n'est pas disponible, l'inventaire radiologique retenu est alors établi en considérant l'inventaire radiologique moyen de la famille de colis de déchets sans considérer de décroissance.

Ces inventaires radiologiques, établis par famille de colis, servent de base à la définition des grandeurs caractéristiques des colis de déchets pour la phase de fonctionnement présentée au chapitre 4 du présent volume.

Ces mêmes inventaires radiologiques sont également des données d'entrée pour l'évaluation des conséquences radiologiques associées aux différents scénarios de sûreté en phase de fonctionnement. En effet, certains scénarios (chute de colis par exemple) présentés au volume 9 du présent rapport sont susceptibles de conduire à une dissémination de substances radioactives contenues dans les colis. Les inventaires radiologiques retenus sont présentés dans la note présentant les scénarios, hypothèses et résultats de calculs des conséquences (15).

3.1.3 La démarche pour la construction de l'inventaire retenu pour les évaluations de sûreté après-fermeture

L'inventaire radiologique défini pour les évaluations de sûreté après fermeture est construit à partir des activités massiques moyennes à l'échelle de la famille. Cet inventaire est margé en tenant compte du niveau de connaissance évalué pour chacune des familles de colis (cf. Développement dans les sections ci-après).

La succession des opérations qui aboutit à cet inventaire se fait suivant les trois étapes :

- l'attribution d'un « niveau de connaissance » à chacune des familles de colis ;
- la définition de « périmètres d'analogies » pour les familles sans dossier de connaissances établis par le producteur ; ces périmètres permettent une estimation « enveloppe » des inventaires radiologiques manquants ;
- l'application de facteurs de marge sur les activités, modulés en fonction du niveau de connaissance de chaque famille, pour tenir compte des incertitudes résiduelles.

Une fois constitué, l'inventaire radiologique à terminaison (intégrant l'ensemble des familles de colis de déchets) est « distribué » dans l'architecture illustrative à terminaison de l'installation souterraine de l'INB de manière à permettre l'évaluation de l'impact sur l'homme des scénarios retenus pour l'évaluation de la sûreté long terme après fermeture. Les principes et les résultats de cette distribution sont présentés dans le volume 8 du présent rapport.

3.1.3.1 Niveaux de connaissance propre à l'activité des radionucléides

Le niveau de connaissance attribué à chaque famille de colis de déchets est défini sur une échelle en comportant quatre :

- niveau 3 : niveau de connaissance correspondant à des incertitudes résiduelles faibles sur l'inventaire radiologique ; les familles de colis dont la production est terminée ou en cours et pour lesquelles les inventaires radiologiques du socle de connaissances sont cohérents avec le retour d'expérience de production relèvent de ce niveau ;
- niveau 2 : niveau de connaissance intermédiaire ;
- niveau 1 : niveau de connaissance correspondant à des incertitudes résiduelles sur l'inventaire radiologique susceptibles d'être réduites ; à titre d'exemple, les familles de colis de déchets pour lesquelles l'inventaire radiologique n'a pas été mis à jour au stade actuel pour tenir compte d'une évolution de conditionnement entrent dans cette catégorie ;
- niveau 0 : niveau attribué aux familles pour lesquelles l'Andra ne dispose pas d'éléments ; les inventaires radiologiques de ces familles de colis sont déterminés par analogies[8] avec des familles similaires mieux connues.

Les niveaux de connaissance permettent de classer les familles selon le niveau de confiance que l'on attribue aux données disponibles.

[8] Les analogies se font à partir d'un ensemble de familles connues, dont les informations vont permettre une détermination enveloppe des données manquantes : inventaires radiologiques (activités massiques) ou masses moyennes de déchets par colis primaire.

3.1.3.2 Facteurs de marge sur l'activité des radionucléides

Des facteurs de marge (cf. Tableau 3-1) sont définis en fonction du niveau de connaissance de chaque famille et appliqués aux activités massiques moyennes fournies par les producteurs pour chaque radionucléide, ou aux activités déduites par analogie pour les familles relevant du niveau 0. L'ensemble des activités massiques obtenues est ensuite compilé aux différentes échelles : colis primaires, familles de colis et quartier de stockage.

Tableau 3-1 Facteurs de marge appliqués aux activités en fonction du niveau de connaissance

Niveau de connaissance attribué aux familles		Facteur multiplicateur appliqué à la l'activité moyenne déclarée de chaque radionucléide
Incertitudes résiduelles faibles sur l'inventaire radiologique	3	1,5
Niveau de connaissance intermédiaire	2	2,0
Incertitudes résiduelles sur l'inventaire radiologique susceptibles d'être réduites	1	5,0
Familles sans inventaire radiologique (définition par « périmètre d'analogies »)	0	10,0

Les facteurs de marges sont choisis dans l'objectif d'obtenir une quantification « enveloppe » de l'inventaire radiologique. À la date de fermeture, la prise en compte de ces facteurs représente :

- un facteur 2 pour les activités alpha et pour les activités béta-gamma des familles de colis HA ;
- des facteurs environ 4 et 5 respectivement pour les activités alpha et béta-gamma des familles de colis MA-VL ;
- en ce qui concerne les radionucléides mobiles à vie longue :
  - ✓ iode 129, un facteur 2 pour les colis HA et 3 pour les colis MA-VL ;
  - ✓ sélénium 79, un facteur 2 pour les colis HA et 4 pour les colis MA-VL ;
  - ✓ chlore 36, un facteur 1 pour les colis HA et 4 pour les colis MA-VL.

Le tableau 3-2 présente, pour chaque typologie de déchets, la répartition du nombre de colis primaires de l'ensemble de l'inventaire selon le facteur de marge appliqué. Pour les familles de colis HA, 90 % des colis sont bien caractérisés (niveau 2 ou 3), l'inventaire radiologique global associé est donc relativement peu margé. Pour les familles MA-VL, 46 % des colis sont bien caractérisés (niveau 2 ou 3), l'inventaire radiologique global associé présente une marge plus importante.

Tableau 3-2 *Répartition à date des facteurs de marge appliqués aux inventaires radiologiques au prorata du nombre de colis primaires de déchets*

Quartier de stockage	Facteur de marge	Répartition au prorata du nombre de colis primaires
Quarter pilote HA et quartier de stockage HA	1,5	11,9 %
	2	79,8 %
	5	7,8 %
	10	0,5 %
Quartier de stockage MA-VL	1,5	5,5 %
	2	40,7 %
	5	50,7 %
	10	3,1 %
Ensemble des quartiers	1,5	7,2 %
	2	50,8 %
	5	39,6 %
	10	2,4 %

3.1.4 La présentation de l'inventaire radiologique pour les évaluations de sûreté après fermeture

3.1.4.1 Déchets HA

À terminaison, les déchets HA représentent 25 % de l'inventaire en nombre de colis primaires et 84 % de l'inventaire radiologique de référence de l'INB Cigéo. La figure 3-1 présente l'évolution de cette activité totale théorique sur un million d'années et celles des dix radionucléides ayant la plus forte activité au moment de la fermeture définitive de l'INB.

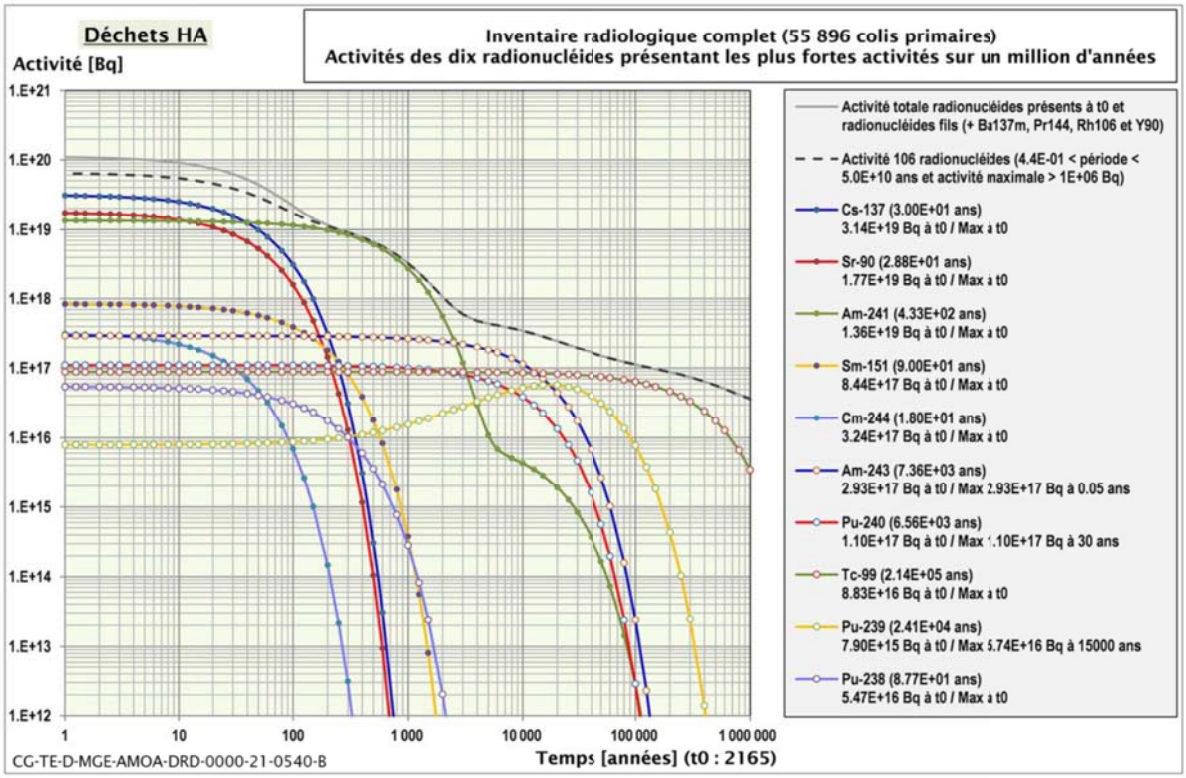


Figure 3-1 *Évolution de l'activité radiologique de l'inventaire des déchets HA sur un million d'années après la fermeture*

Le césium 137, et en moindre mesure le strontium 90, présentent l'activité dominante jusqu'à environ 40 ans après fermeture, ensuite c'est l'américium 241 jusqu'à environ 2 000 ans, puis l'américium 243 après 3 000 ans et enfin le technétium 99.

La figure 3-2 montre l'évolution de la contribution à l'activité par catégories de radionucléides. L'activité des radionucléides à vie courte devient minoritaire à partir de 60 ans après la fermeture définitive. L'activité alpha de l'inventaire des déchets HA est dominante de 60 ans à 20 000 ans, après fermeture.

Evolution de l'activités des 55896 colis HA par catégories de radionucléides sur un million d'années

Temps après fermeture en 2165 :	50	100	500	1 000	5 000	10 000	50 000	100 000	500 000	1 000 000
Activité totale [Bq]	6.5E+19	2.9E+19	1.7E+19	6.7E+18	3.3E+18	4.4E+17	3.4E+17	1.5E+17	1.1E+17	5.7E+16	3.6E+16
Activité tot VC [%]	78.1	55.0	30.1	0.7	0.6	4.0	4.5	7.4	9.6	15.7	19.4
Activité tot VL [%]	21.9	45.0	69.9	99.3	99.4	96.0	95.5	92.6	90.4	84.3	80.6
Activité actinides [%]	22.4	45.1	69.6	97.9	96.3	72.5	65.6	29.7	17.2	29.2	41.7
Activité alpha [%]	22.3	45.0	69.5	97.7	96.0	71.2	64.4	29.7	17.4	29.3	41.7
Activité bêta gamma [%]	77.7	55.0	30.5	2.3	4.0	28.8	35.6	70.3	82.6	70.7	58.3
Atténuation activité totale	1	2.2	3.7	9.7	20	150	190	430	570	1100	1800

CG-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-21-0541-A

Figure 3-2 *Évolution de l'activité des colis HA pour différentes catégories de radionucléides (VC : vie courte ; VL : vie longue)*

Le figure 3-2 rassemble les données de radionucléides d'intérêt pour les évaluations après fermeture. Le sélénium 79 est très majoritairement localisé dans les colis HA alors que le chlore 36 et l'iode 129 sont presque également répartis entre les colis HA et MA-VL.

Tableau 3-3 *Activités des déchets HA à la date de fermeture pour quelques radionucléides d'intérêt particulier pour les évaluations après fermeture*

Radionucléide	Période [ans] (d'après Jeff 3.1/3.1.1)	Activité à la date de fermeture		Part des déchets HA dans l'activité totale HA+MA-VL
		En Bq	En moles	
^{14}C	$5{,}70 \times 10^{3}$	$3{,}40 \times 10^{14}$	147	0,5 %
^{36}Cl	$3{,}01 \times 10^{5}$	$1{,}58 \times 10^{14}$	3 590	52 %
^{79}Se	$3{,}77 \times 10^{5}$	$4{,}53 \times 10^{14}$	12 920	93 %
^{108m}Ag	$4{,}18 \times 10^{2}$	$7{,}89 \times 10^{12}$	0,25	0,1 %
^{129}I	$1{,}61 \times 10^{7}$	$1{,}96 \times 10^{12}$	2 390	52 %

3.1.4.2 Déchets MA-VL

Les déchets MA-VL représentent 75 % de l'inventaire en nombre de colis primaires et 16 % de l'inventaire radiologique total au moment de la fermeture définitive de l'INB. La figure 3-3 présente l'évolution de l'activité totale sur un million d'années et celles des dix radionucléides ayant la plus forte activité au moment de la fermeture définitive.

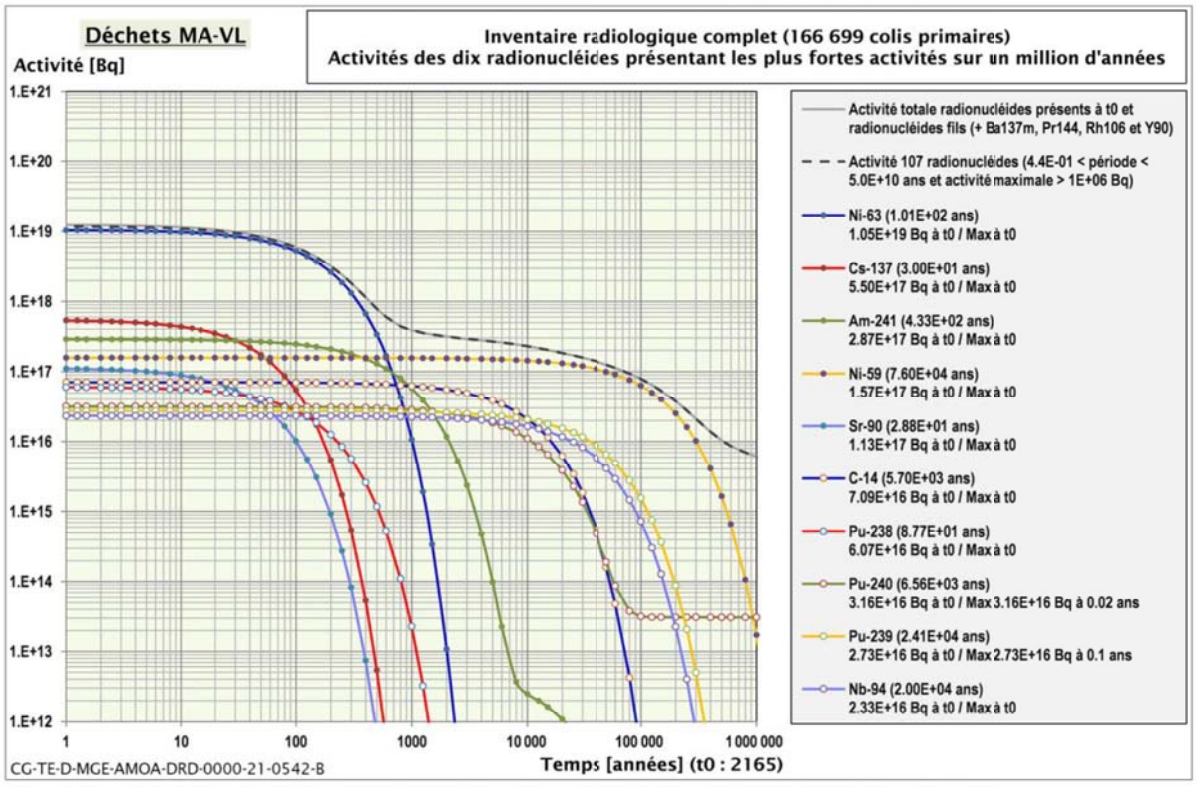
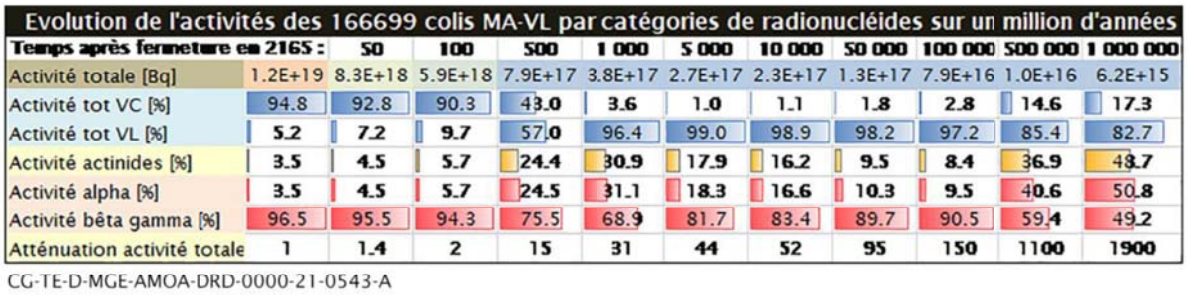


Figure 3-3 *Évolution de l'activité radiologique des déchets MA-VL après la fermeture définitive*

Le nickel 63 présente l'activité dominante jusqu'à environ 600 ans après fermeture. Le nickel 59 prend ensuite le relais jusqu'à environ 900 000 ans, date à laquelle le plutonium 240 devient prépondérant.

La figure 3-4 montre l'évolution de la contribution à l'activité MA-VL par catégories de radionucléides. L'activité des radionucléides à vie courte des déchets MA-VL est dominante jusqu'à 400 ans. L'activité bêta gamma reste dominante dans ces déchets jusqu'à environ 800 000 ans.



Evolution de l'activités des 166699 colis MA-VL par catégories de radionucléides sur un million d'années											
Temps après fermeture en 2165 :		50	100	500	1 000	5 000	10 000	50 000	100 000	500 000	1 000 000
Activité totale [Bq]	1.2E+19	8.3E+18	5.9E+18	7.9E+17	3.8E+17	2.7E+17	2.3E+17	1.3E+17	7.9E+16	1.0E+16	6.2E+15
Activité tot VC [%]	94.8	92.8	90.3	43.0	3.6	1.0	1.1	1.8	2.8	14.6	17.3
Activité tot VL [%]	5.2	7.2	9.7	57.0	96.4	99.0	98.9	98.2	97.2	85.4	82.7
Activité actinides [%]	3.5	4.5	5.7	24.4	30.9	17.9	16.2	9.5	8.4	36.9	48.7
Activité alpha [%]	3.5	4.5	5.7	24.5	31.1	18.3	16.6	10.3	9.5	40.6	50.8
Activité bêta gamma [%]	96.5	95.5	94.3	75.5	68.9	81.7	83.4	89.7	90.5	59.4	49.2
Atténuation activité totale	1	1.4	2	15	31	44	52	95	150	1100	1900

CG-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-21-0543-A

Figure 3-4 *Évolution de l'activité des colis MA VL pour différentes catégories de radionucléides (VC : vie courte ; VL : vie longue)*

Le figure 3-4 rassemble les données des radionucléides d'intérêt pour les évaluations après fermeture (impact radiologique prédominant). Le chlore 36 et l'iode 129 sont presque également répartis entre déchets MA-VL et déchets HA. Le carbone 14, comme l'argent 108 m, sont au contraire essentiellement présent dans les colis MA-VL.

Tableau 3-4 *Activités des déchets MA-VL au moment de la fermeture définitive pour quelques radionucléides d'intérêt particulier pour les évaluations après fermeture*

Radionucléide	Période [ans] (d'après Jeff 3.1/3.1.1)	Activité à la date de fermeture		Part des déchets MA-VL dans l'activité
		En Bq	En moles	
^{14}C	$5{,}70 \times 10^{3}$	$7{,}09 \times 10^{16}$	30 500	99,5 %
^{36}Cl	$3{,}01 \times 10^{5}$	$1{,}42 \times 10^{14}$	3 220	48 %
^{79}Se	$3{,}77 \times 10^{5}$	$3{,}39 \times 10^{13}$	965	7 %
^{108m}Ag	$4{,}18 \times 10^{2}$	$5{,}50 \times 10^{15}$	174	99,9 %
^{129}I	$1{,}61 \times 10^{7}$	$1{,}82 \times 10^{12}$	2 210	48 %

3.2 Les inventaires en substances toxiques chimiques

L'inventaire en substances toxiques chimiques contenues dans les colis de déchets est établi par famille de colis de déchets. Les substances toxiques chimiques retenues par l'Andra sont : uranium, plomb, mercure, antimoine, cadmium, sélénium, arsenic, nickel, chrome, bore, béryllium, radical CN et amiante.

Les substances toxiques chimiques sont considérées comme des accompagnants des radionucléides dans la démonstration de sûreté.

3.2.1 L'inventaire en substances toxiques chimiques pour la phase d'après-fermeture

L'inventaire en substances toxiques chimiques du colis primaire est déclaré par le producteur soit de manière distincte pour les différents composants du colis primaire (déchet, matrice, enveloppe primaire), soit de manière générale pour le colis primaire.

La valeur d'inventaire retenue est la masse moyenne de chaque toxique chimique déclarée au titre du déchet lorsque celle-ci est distinguée. À défaut, la masse moyenne de chaque toxique chimique déclarée au titre du colis primaire est considérée.

L'établissement de l'inventaire en substances toxiques chimiques contenues dans les colis de déchets suit la méthodologie suivante :

- la prise en compte de l'ensemble des familles de colis de déchets présentées au chapitre 1 du présent volume, y compris celles pour lesquelles le conditionnement est encore à définir ;
- l'utilisation d'analogies pour les familles ne disposant pas d'informations relatives aux substances toxiques chimiques ;
- la compilation à l'échelle du colis primaire, de la famille et de la catégorie de déchets HA et MA-VL.

Pour les évaluations de sûreté à long terme, l'inventaire en substances toxiques chimiques est réparti dans l'architecture illustrative à terminaison en suivant la même distribution des familles que celle retenue pour les inventaires radiologiques. Les principes et les résultats de cette distribution sont présentés dans le volume 8 du présent rapport.

Le tableau 3-5 montre que, dans la plupart des cas, chaque substance toxique chimique est représentative d'une seule catégorie de déchets. L'antimoine et le sélénium sont présents en majorité dans les déchets HA (78 % et 98 % respectivement) alors que le plomb, le mercure, l'arsenic, le nickel, le chrome, le bore, le béryllium et le radical CN sont distribués à plus de 90 % dans les déchets MA-VL. Pour l'uranium et le cadmium, la répartition est proche de 30 % dans les déchets HA et 70 % dans les déchets MA-VL.

Tableau 3-5 *Masses des substances toxiques chimiques déclarées au titre du déchet[9].*

Élément ou radical toxique	U	Pb	Hg	Sb	Cd	Se	As	Ni	Cr	B	Be	CN-
Unité	t	t	kg	t	t	T	Kg	t	t	t	t	kg
Masse	314	180	589	1,69	33,3	4,89	110	2 320	3 410	35.4	51,0	1,49
Fraction HA en %	29,6	0,0	0,0	78,1	29,1	98,0	9,1	2,2	2,3	0,3	0,0	0,0
Fraction MA-VL en %	70,4	100,0	100,0	29,1	70,9	2,0	90,9	97,8	97,7	99.7	100,0	100,0

[9] L'amiante, qui n'est pas mobilisable par l'eau, ne figure pas dans le tableau. La masse déclarée au titre du déchet est de l'ordre de 22 kg.

3.2.2 L'inventaire en substances toxiques chimiques pour la phase de fonctionnement

L'inventaire en substances toxiques chimiques contenu dans les colis de déchets sert de base aux évaluations d'impact liées à des scénarios accidentels en phase de fonctionnement. En effet, certains scénarios (chute de colis par exemple) présentés au volume 9 du présent rapport sont susceptibles de conduire à une dissémination des substances toxiques chimiques « accompagnant » la dissémination des substances radioactives contenues dans les colis de déchets radioactifs. Les inventaires en substances toxiques chimiques retenus, par famille de colis, sont présentés dans la note présentant les scénarios, hypothèses et résultats des calculs de conséquences (15).

Par ailleurs, le caractère mobilisable ou non des substances toxiques chimiques contenues dans les colis de déchets radioactifs dépend de la forme dans laquelle se trouve le déchet (massif, pulvérulent). La prise en compte de cette forme intervient donc dans les évaluations de sûreté afin de définir la quantité de matière remise en suspension lors de différents scénarios.

4

Les grandeurs caractéristiques des colis de déchets

4.1 Les grandeurs caractéristiques pour la phase de fonctionnement de l'INB 72
4.2 Les « grandeurs caractéristiques » pour le long terme après la fermeture définitive de l'installation de stockage 90

Compte tenu du nombre et de la variété des familles de colis primaires, il est fait le choix d'établir des grandeurs caractéristiques supports au dimensionnement des ouvrages et équipements des installations de l'INB Cigéo et aux études de sûreté associées à ce dimensionnement. Ces grandeurs sont fixées par type de colis de stockage (colis primaire, associé à son conteneur ou en stockage direct). Ces grandeurs concernent principalement la phase de fonctionnement mais également dans une moindre mesure la phase après-fermeture. Les valeurs de ces grandeurs caractéristiques sont choisies à partir des données fournies par les producteurs et dans l'objectif de dimensionner globalement l'installation en considérant l'essentiel des données colis sans pour autant la dimensionner sur les valeurs les plus extrêmes. Les colis associés à ces dernières sont toutefois considérés par le biais d'études spécifiques intégrées à la démonstration de sûreté.

Les grandeurs caractéristiques des colis primaires sont définies au regard des fonctions de sûreté suivantes :

- en exploitation :
  - ✓ protéger les personnes contre l'exposition aux rayonnements ionisants ;
  - ✓ confiner les substances radioactives, de manière à se prémunir contre le risque de dispersion de ces substances ;
  - ✓ maîtriser la sûreté vis-à-vis du risque de criticité ;
  - ✓ évacuer la puissance thermique des déchets ;
  - ✓ évacuer les gaz formés par radiolyse ou corrosion ;
- pour le long terme :
  - ✓ limiter le transfert jusqu'à la biosphère des substances radioactives et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets.

4.1 Les grandeurs caractéristiques pour la phase de fonctionnement de l'INB

4.1.1 Les données d'entrées et les hypothèses générales

4.1.1.1 Données d'entrées

La connaissance des colis primaires et plus particulièrement leur conditionnement ainsi que leur mode de stockage constitue une donnée d'entrée importante pour établir les grandeurs caractéristiques.

Les grandeurs caractéristiques sont définies par type de colis de stockage et au regard des fonctions de sûreté à assurer : protection contre les rayonnements ionisants, confinement des substances radioactives, sûreté-criticité, évacuation de la puissance thermique et évacuation des gaz de radiolyse. Elles sont définies sur la base des connaissances sur les colis produits ou en cours de production[10].

Elles ont pour objectif de couvrir l'essentiel des données correspondantes figurant dans le socle de connaissances de l'Andra. Ainsi les familles présentant un nombre réduit de colis aux caractéristiques pouvant conduire à un dimensionnement disproportionné au regard du nombre de colis concernés ne sont pas prises en compte dans le dimensionnement global de l'installation. Elles sont dénommées par la suite familles particulières de colis de déchets et sont identifiées de manière distincte pour chaque risque.

Pour ces familles de colis, des dispositions spécifiques sont prévues en tant que de besoin et la démonstration de sûreté, présentée dans le présent rapport, les prend bien en compte.

[10] Les familles de colis futurs dont les caractéristiques sont assimilées par le producteur à celles d'une famille existante, sont de facto couvertes par les grandeurs caractéristiques retenues.

Par ailleurs, les familles de colis dites « futures », pour lesquelles le conditionnement des déchets n'est pas encore totalement défini, doivent pouvoir être réceptionnées sur l'INB Cigéo dans les mêmes conditions que les autres familles déjà produites ou en cours de production. Pour ces familles, le conditionnement développé par les producteurs visera à rendre les colis compatibles avec les spécifications d'acceptation des colis de l'INB Cigéo, établies à partir des colis connus. L'autorisation associée aux futurs conditionnements est encadrée par la décision conditionnement (applicable également aux INB/S). Cette décision prévoit notamment la possibilité d'échanges amont entre le producteur et l'Andra sur la base d'un conditionnement proposé par le producteur, l'Andra vérifiant l'absence de point rédhibitoire vis-à-vis de la conception et de la sûreté du stockage. En cas de difficulté avérée, des leviers pourront être proposés *via* des études complémentaires comme indiqué dans le chapitre traitant des principes généraux de la pèce 19 « Version préliminaire des spécifications d'acceptation des colis » (4).

En conséquence, à ce stade de la conception et de la démonstration de sûreté, les colis de l'inventaire de référence sont considérés couverts par les grandeurs caractéristiques arrêtées sur la base des données disponibles dans le socle de connaissances.

4.1.1.2 Principes de dimensionnement

Le dimensionnement des ouvrages et équipements tient compte des grandeurs caractéristiques au regard des fonctions de sûreté qu'ils assurent, en particulier :

- en entreposage en zone tampon et en alvéole accueillant un nombre significatif de colis, le dimensionnement tient compte des grandeurs présentées par type de colis de stockage. De plus, l'éventuel impact à une échelle locale d'un regroupement de colis de familles particulières de colis de déchets est évalué. Il peut amener à des dispositions spécifiques ;
- pour les hottes de transfert, les équipements de manutention (exemple, les ponts) et autres zones accueillant/manipulant un nombre limité de colis, le dimensionnement tient également compte des familles particulières de colis de déchets. Lorsque la prise en compte d'une famille particulière de colis de déchets conduit à un dimensionnement disproportionné au regard du nombre de colis concernés, voire conduit à des difficultés de dimensionnement vis-à-vis de tel ou tel risque, des dispositions spécifiques sont privilégiées.

4.1.2 La protection contre l'exposition aux rayonnements ionisants

Durant le cheminement des colis au sein de l'INB Cigéo, ce sont les protections radiologiques (murs, portes, hublots, façades d'accostage et hottes) qui permettent de maîtriser le risque d'exposition aux rayonnements ionisants.

Les grandeurs caractéristiques pour assurer la protection contre les rayonnements ionisants reposent sur la sélection, pour chaque type de colis de stockage, de l'Inventaire radiologique (IR) maximal en radionucléides contributeurs au DeD gamma des colis primaires que le colis de stockage est susceptible de contenir (valorisation de l'atténuation apportée par les conteneurs de stockage).

La méthodologie consiste à sélectionner, pour chaque type de colis de stockage, l'IR de la famille la plus pénalisante déterminée sur la base de l'analyse :

- de la somme des activités des radionucléides les plus contributeurs à l'exposition externe induite par les colis de déchets (^{26}Al, ^{60}Co, ^{65}Zn, ^{94}Nb, ^{106}Rh, ^{106}Ru, ^{108m}Ag, ^{125}Sb, ^{134}Cs, ^{137}Cs/^{137m}Ba, ^{154}Eu, ^{166}Ho, ^{247}Cm, ^{249}Cf) ;
- de l'activité totale du colis.

Pour les familles associées à un même type de colis de stockage et pour lesquelles aucun inventaire radiologique n'est disponible, il est retenu des caractéristiques relatives à l'exposition externe semblables à celles de familles présentant des caractéristiques similaires (analogie en termes de composition physicochimique, conditionnement, etc.).

Ainsi les familles de colis considérée pour le dimensionnement des protections radiologiques à l'égard de l'exposition externe aux photons et aux neutrons sont présentées dans le tableau 4-1. L'inventaire radiologique des familles mentionnées dans ce tableau est introduit au chapitre 3 du présent volume.

Tableau 4-1 *Familles de colis à considérer pour le dimensionnement des protections radiologiques à l'égard de l'exposition externe*

Type de colis de stockage		Famille retenue
MA-VL	CS 1	CEA-232
	CS 2.1	COG-050
	CS 2.2	COG-110
	CS 2.3	CEA-060
	CS 3	COG-040
	CS 4.1	CEA-1020
	CS 4.2	COG-020
	CS 5.1	CEA-050
	CS 5.2	CEA-100
	CS 5.3[11]	EDF-080
	CS 5.4	COG-430
	CS 5.5	Non définie
	CS 6	CEA-450
	CS 7	CEA-231
	CS 21	EDF-080
	CS 22	COG-110
	CS 23	COG-030
	CS 24	CEA-050
	CS 25	Non définie[12]
	CS 26	CEA-280
	CS 27	Non définie[13]

[11] Les colis de type C1PG^{SP} sont majoritairement stockés directement en alvéole. La solution de stockage en conteneur de stockage est retenue dans le cadre du co-stockage en alvéole de stockage.
[12] Familles de colis non encore produits à ce jour et dont le conditionnement est encore à déterminer [AD].
[13] Familles de colis non encore produits à ce jour et dont le conditionnement est encore à déterminer [AD].

Type de colis de stockage		Famille retenue
HA	CS 13	COG-150
	HA1 – CS 14	COG-800
	HA2 – CS 14	COG-200
	CS 10/CS 15	CEA-1080

La famille MA-VL COG-560 (famille particulière de colis de déchets) n'est pas retenue dans le cadre du dimensionnement de l'installation. Cependant, cette famille est intégrée dans la démonstration de sûreté apportée au volume 9 du présent rapport.

4.1.3 Le confinement des substances radioactives

4.1.3.1 En fonctionnement normal et dégradé

Durant le cheminement des colis au sein de l'INB Cigéo, les déchets sont toujours contenus à l'intérieur de deux barrières de confinement de sorte que les situations potentielles de contamination de leur environnement se limitent, en fonctionnement normal et dégradé, à la contamination surfacique labile externe potentiellement présente sur les enveloppes des colis.

En l'absence de données sur les valeurs de contamination surfacique sur les colis, l'hypothèse retenue en termes de contamination surfacique correspond aux valeurs limites maximales de contamination surfacique pour l'acceptation des colis de déchets radioactifs sur l'INB qui sont de 0,4 Bq/cm² en émetteurs alpha et de 4 Bq/cm² en émetteurs béta gamma. Le léchage des surfaces potentiellement contaminées des colis par l'air de la ventilation est modélisé par un taux de remise en suspension horaire pris égal à 10^{-5} h^{-1}.

La grandeur caractéristique relative à la dispersion des substances radioactives en fonctionnement normal et dégradé, est la limite dérivée de concentration dans l'air [redacted]. Elle est établie sur la base des hypothèses présentées ci-avant.

En ce qui concerne la prise en compte de la mobilisation de la contamination surfacique pour les évaluations de sûreté, un radionucléide pénalisant représentatif de la contamination surfacique alpha et un radionucléide pénalisant représentatif de la contamination surfacique béta gamma ont été définis. En fonctionnement normal et en mode dégradé, il s'agit respectivement du ^{239}Pu et du ^{90}Sr.

Le tableau 4-2 présente les niveaux de contamination atmosphérique potentiellement atteints par remise en suspension de la contamination surfacique (CP unitaire et CS) en situation de fonctionnement normal [redacted] pour les différents types de colis stockage HA et MA-VL.

Tableau 4-2 *Évaluation des grandeurs caractéristiques relatives à une mobilisation de la contamination surfacique labile en fonctionnement normal*

Mobilisation de la contamination surfacique labile des colis par la ventilation				
Type de colis de stockage		Familles de colis retenues	[redacted]	
MA-VL	CS 1	CEA-232	$3{,}18 \times 10^{-1}$	2,70
	CS 2.1	COG-050	$6{,}84 \times 10^{-1}$	2,68
	CS 2.2	COG-070/COG-100/COG-110/COG-120	$2{,}76 \times 10^{-1}$	2,68
	CS 2.3	CEA-060/CEA-110/CEA-120/CEA-440	$4{,}87 \times 10^{-1}$	2,68
	CS 3	COG-040/COG-440	$9{,}68 \times 10^{-1}$	2,89
	CS 4.1	CEA-1000/CEA-1010/CEA-1020	$4{,}29 \times 10^{-1}$	3,34
	CS 4.2	COG-020/COG-420	$3{,}23 \times 10^{-1}$	3,34
	CS 5.1	CEA-050/CEA-080/CEA-090/CEA-1510	$7{,}60 \times 10^{-1}$	3,23
	CS 5.2	CEA-100	$6{,}90 \times 10^{-1}$	3,23
	CS 5.3	EDF-080/EDF-090/EDF-100	$8{,}10 \times 10^{-1}$	3.23
	CS 5.4	COG-400/COG-430	$3{,}54 \times 10^{-1}$	3,23
	CS 6	CEA-290/CEA-300/CEA-450	$8{,}93 \times 10^{-1}$	3,63
	CS 7	CEA-231	3,26	4,37
	CS 21	EDF-080/EDF-090 (unitaire)	$8{,}10 \times 10^{-1}$	
	CS 22	COG-100/COG-110/COG-120 (six par panier)	$2{,}76 \times 10^{-1}$	3,75
	CS 23	COG-030 (unitaire)	$6{,}55 \times 10^{-1}$	
	CS 24	CEA-050/CEA-330/CEA-1100 (unitaire)	$7{,}60 \times 10^{-1}$	
	CS 25	Non définie[14]	Non définie	
	CS 26	CEA-070/CEA-140/CEA-150/CEA-280/CEA-1180 (quatre par panier)	$3{,}29 \times 10^{-1}$	3,20
	CS 27	Non définie[14]	Non définie	

[14] Familles de colis non encore produits à ce jour et dont le conditionnement est encore à déterminer [AD].

Mobilisation de la contamination surfacique labile des colis par la ventilation				
Type de colis de stockage		Familles de colis retenues		
HA	CS 13	COG-150	$2,68 \times 10^{-1}$	$5,46 \times 10^{-1}$
	CS 10	CEA-1190/CEA-200	$1,16 \times 10^{-1}$	$4,98 \times 10^{-1}$
	CS 15	CEA-1070/CEA-1080/CEA-350	$2,57 \times 10^{-1}$	$8,19 \times 10^{-1}$
	CS 14	COG-140/COG-200/COG-800	$2,68 \times 10^{-1}$	$5,46 \times 10^{-1}$

4.1.3.2 En cas de choc, chute, collision et séisme

Vis-à-vis du risque de dispersion des substances radioactives en cas de choc, chute, collision et séisme, la grandeur caractéristique retenue est également la limite dérivée de concentration dans l'air Elle est établie sur la base des inventaires radiologiques des colis primaires (cf. Chapitre 3 du présent volume) et des hypothèses de remise en suspension présentées ci-après. Il est distingué le cas où l'évènement mobilise uniquement la contamination surfacique des colis du cas où la contamination surfacique et le contenu radiologique peuvent être mobilisés.

La remise en suspension de la contamination surfacique labile externe suite à un choc, une chute ou une collision est un phénomène instantané pour lequel le taux de renouvellement d'air dans le local n'entre pas en compte. Ce phénomène peut être modélisé par une fraction de remise en suspension instantanée prise égale à 10^{-3}. Pour le cas particulier du séisme, il est retenu que la mise en vibration de surfaces contaminées conduit à un taux de remise en suspension de 10^{-4}. Comme précédemment, les radionucléides $^{239}Pu/^{90}Sr$ sont retenus comme représentatifs de la contamination surfacique respectivement alpha et béta gamma.

Dès lors que le colis peut subir un choc, une chute ou une collision dont les niveaux énergétiques sont supérieurs à ceux induits par une chute d'une hauteur excédant sa hauteur de qualification, il est considéré, en plus de la mobilisation de la contamination surfacique labile externe des colis, qu'une fraction du contenu radiologique interne peut potentiellement être remise en suspension. Les coefficients de remise en suspension des radionucléides retenus pour les différentes natures de colis primaires sont détaillés dans le tableau 4-3.

Tableau 4-3 Coefficients de remise en suspension en cas de chute des colis primaires

Conteneur primaire	Matrice	Facteurs de remise en suspension des colis primaires
Acier avec couvercle serti/vissé/cerclé	Sans matrice	10^{-4}
	Bitume	10^{-6}
	Ciment/mortier (bloc hétérogène)	10^{-5}
	Ciment/mortier (bloc homogène)	10^{-6}
Acier avec couvercle soudé	Sans matrice	10^{-5}
	Ciment/mortier (bloc hétérogène)	10^{-6}
	Ciment/mortier (bloc homogène)	10^{-7}
	Déchets vitrifiés	10^{-7}
Conteneur béton	Ciment/mortier (bloc hétérogène)	10^{-5}
	Ciment/mortier (bloc homogène)	10^{-6}

Lorsque le(s) colis primaire(s) se trouve(nt) dans un conteneur de stockage, et qu'ils chutent d'une hauteur inférieure à la hauteur de qualification du conteneur (cf. « Dossier de justification de la conception des conteneurs de stockage des colis HA et MA-VL » (11, 14)), un coefficient de rétention supplémentaire de 10^{-2} est alors appliqué.

En dessous de la hauteur de qualification à la chute des colis primaires, il est considéré que l'activité présente à l'intérieur des colis primaires n'est pas mobilisée. La hauteur de qualification à la chute des colis primaires MA-VL varie de 1,2 mètre à 9 mètres, sauf pour deux familles pour lesquelles les colis primaires n'ont aucune qualification à la chute.

Les colis primaires HA reçus sur le bâtiment EP1 ne sont pas manutentionnés à des hauteurs supérieures à leur hauteur de qualification ; aucune remise en suspension du contenu interne n'est donc considérée.

4.1.3.2.1 Chute inférieure à la hauteur de qualification

Le tableau 4-4 présente les niveaux de contamination atmosphérique potentiellement atteints par remise en suspension instantanée de la contamination surfacique labile en cas de choc, chute ou collision en [redacted] pour les différents colis de stockage MA-VL et HA.

Tableau 4-4 *Évaluation des grandeurs caractéristiques relatives à une mobilisation de la contamination surfacique labile en situation de choc, chute et collision*

Mobilisation de la contamination surfacique labile des colis en cas de choc, chute et collision				
Type de colis de stockage		Familles de colis retenues		
MA-VL	CS 1	CEA-232	$3{,}18 \times 10^{1}$	$2{,}70 \times 10^{2}$
	CS 2.1	COG-050	$6{,}84 \times 10^{1}$	$2{,}68 \times 10^{2}$
	CS 2.2	COG-070/COG-100/COG-110/COG-120	$2{,}76 \times 10^{1}$	$2{,}68 \times 10^{2}$
	CS 2.3	CEA-060/CEA-110/CEA-120/CEA-440	$4{,}87 \times 10^{1}$	$2{,}68 \times 10^{2}$
	CS 3	COG-040/COG-440	$9{,}68 \times 10^{1}$	$2{,}89 \times 10^{2}$
	CS 4.1	CEA-1000/CEA-1010/CEA-1020	$4{,}29 \times 10^{1}$	$3{,}34 \times 10^{2}$
	CS 4.2	COG-020/COG-420	$3{,}26 \times 10^{1}$	$3{,}37 \times 10^{2}$
	CS 5.1	CEA-050/CEA-080/CEA-090/CEA-1510	$7{,}60 \times 10^{1}$	$3{,}23 \times 10^{2}$
	CS 5.2	CEA-100	$6{,}90 \times 10^{1}$	$3{,}23 \times 10^{2}$
	CS 5.3	EDF-080/EDF-090/EDF-100	$8{,}10 \times 10^{1}$	$3{,}23 \times 10^{2}$
	CS 5.4	COG-400/COG-430	$3{,}54 \times 10^{1}$	$3{,}23 \times 10^{2}$
	CS 6	CEA-290/CEA-300/CEA-450	$8{,}93 \times 10^{1}$	$3{,}63 \times 10^{2}$
	CS 7	CEA-231	$3{,}26 \times 10^{1}$	$4{,}37 \times 10^{2}$
	CS 21	EDF-080/EDF-090 (unitaire)	$8{,}10 \times 10^{1}$	
	CS 22	COG-100/COG-110/COG-120 (six par panier)	$3{,}75 \times 10^{2}$	$3{,}75 \times 10^{2}$
	CS 23	COG-030 (unitaire)	$6{,}55 \times 10^{1}$	
	CS 24	CEA-050/CEA-330/CEA-1100 (unitaire)	$7{,}60 \times 10^{1}$	
	CS 25	Non définie[15]	$1{,}71 \times 10^{2}$	
	CS 26	CEA-070/CEA-140/CEA-150/CEA-280/CEA-1 180 (quatre par panier)	$3{,}29 \times 10^{1}$	$3{,}20 \times 10^{2}$

[15] Familles de colis non encore produits à ce jour et dont le conditionnement est encore à déterminer [AD].

Mobilisation de la contamination surfacique labile des colis en cas de choc, chute et collision				
Type de colis de stockage		Familles de colis retenues		
	CS 27	Non définie[16]	Non définie	
HA	CS 13	COG-150	$2{,}68 \times 10^{1}$	$5{,}46 \times 10^{1}$
	CS 10	CEA-1190/CEA-200	$1{,}16 \times 10^{1}$	$4{,}98 \times 10^{1}$
	CS 15	CEA-1070/CEA-1080/CEA-350	$2{,}57 \times 10^{1}$	$8{,}19 \times 10^{1}$
	CS 14	COG-140/COG-200/COG-800	$2{,}68 \times 10^{1}$	$5{,}46 \times 10^{1}$

4.1.3.2.2 Chute excédant la hauteur de qualification

Le tableau 4-5 présente les niveaux de contamination atmosphérique potentiellement atteints par remise en suspension instantanée de la contamination surfacique labile externe des colis et du contenu radiologique interne des colis en cas de choc, chute ou collision [redacted] pour les différents colis primaires et colis de stockage MA-VL.

Tableau 4-5 *Évaluation des grandeurs caractéristiques relatives à une mobilisation de la contamination surfacique labile et du contenu radioactif interne solide du colis en cas de chute excédant sa hauteur de qualification*

Mobilisation de la contamination surfacique labile et du contenu radioactif interne solide du colis en cas de chute, choc ou collision excédant sa hauteur de qualification					
[redacted]					
1,2 m	CS 1 (2)	CEA-232	$1{,}40 \times 10^{7}$	$2{,}79 \times 10^{5}$	$2{,}79 \times 10^{7}$
	CS 2.1 (1)	COG-050	$6{,}73 \times 10^{7}$	$6{,}73 \times 10^{5}$	$6{,}73 \times 10^{7}$
	CS 4.1 (4)	CEA-480	$7{,}46 \times 10^{6}$	$2{,}99 \times 10^{5}$	$2{,}98 \times 10^{7}$
	CS 5.1 (1)	CEA-050	$2{,}19 \times 10^{9}$	$2{,}19 \times 10^{7}$	$2{,}19 \times 10^{9}$
	CS 5.2 (1)	CEA-100	$5{,}95 \times 10^{4}$	$5{,}95 \times 10^{3}$	$5{,}95 \times 10^{4}$

[16] Familles de colis non encore produits à ce jour et dont le conditionnement est encore à déterminer [AD].

Mobilisation de la contamination surfacique labile et du contenu radioactif interne solide du colis en cas de chute, choc ou collision excédant sa hauteur de qualification

	CS 5.4 (4)	COG-400	$2,62 \times 10^{6}$	$1,05 \times 10^{5}$	$1,05 \times 10^{7}$
	CS 23 (1)	COG-030	$5,78 \times 10^{7}$	$5,78 \times 10^{7}$	$5,78 \times 10^{7}$
	CS 24 (1)	CEA-050	$2,19 \times 10^{9}$	$2,19 \times 10^{9}$	$2,19 \times 10^{9}$
	CS 25 (1)	Non définie[17]	Non définie	Non définie	Non définie
	CS 26 (4)	CEA-070	$6,30 \times 10^{6}$	$2,52 \times 10^{7}$	$2,52 \times 10^{7}$
	CS 27 (1)	Non définie[17]	Non définie	Non définie	Non définie
1,3 m	CS 5.3 (1)	EDF-090	$4,36 \times 10^{6}$	$4,36 \times 10^{4}$	$4,36 \times 10^{6}$
	CS 21 (1)	EDF-090	$4,36 \times 10^{6}$	$4,36 \times 10^{6}$	$4,36 \times 10^{6}$
1,8 m	CS 26 (4)	CEA-280	$1,25 \times 10^{7}$	$5,00 \times 10^{7}$	$5,00 \times 10^{7}$
2,5 m	CS 6 (1)	CEA-450	$7,65 \times 10^{5}$	-	$7,65 \times 10^{6}$
3,5 m	CS 7 (1)	CEA-231	$2,84 \times 10^{7}$	-	$2,84 \times 10^{7}$
3,5 m	CS 3 (1)	COG-040	$1,45 \times 10^{7}$	-	$1,45 \times 10^{7}$
4,5 m	CS 4.2 (5)	COG-020	$6,36 \times 10^{5}$	-	$3,18 \times 10^{6}$
6 m	CS 2.3 (2)	CEA-110	$8,99 \times 10^{8}$	-	$1,80 \times 10^{8}$
7,3 m	CS 5.4 (4)	COG-430	$1,85 \times 10^{7}$	-	$7,42 \times 10^{7}$
7,5 à 8 m	CS 2.3 (2)	CEA-060	$5,11 \times 10^{8}$	-	$1,02 \times 10^{9}$
9 m	CS 2.2 (4)	COG-100	$1,42 \times 10^{8}$	-	$5,69 \times 10^{8}$
	CS 22 (6)	COG-100	$1,42 \times 10^{8}$	-	$8,54 \times 10^{8}$

Les familles particulières de colis de déchets (ici absence de qualification à la chute) vis-à-vis des autres colis partageant le même conteneur de stockage sont présentées dans le tableau 4-6. Ces familles ne

[17] Familles de colis non encore produits à ce jour et dont le conditionnement est encore à déterminer [AD].

sont pas retenues dans le cadre du dimensionnement de l'installation. Cependant, ces familles sont intégrées dans la démonstration de sûreté apportée au volume 9 du présent rapport.

Tableau 4-6 *Familles particulières présentant un nombre réduit de colis non qualifiés à la chute*

Mobilisation de la contamination surfacique labile et du contenu radioactif interne solide du colis en cas de chute, choc ou collision excédant sa hauteur de qualification					
Sans	CS 6 (1)	CEA-290	$9{,}46 \times 10^{5}$	$9{,}82 \times 10^{3}$	$9{,}46 \times 10^{5}$
		CEA-300	$6{,}95 \times 10^{3}$	$4{,}32 \times 10^{2}$	$7{,}24 \times 10^{3}$
	CS 5.2 (1)	CEA-310	$1{,}80 \times 10^{6}$	$1{,}80 \times 10^{4}$	$1{,}80 \times 10^{6}$

4.1.3.3 En cas d'incendie

En cas d'incendie, les conséquences redoutées sur la première barrière de confinement que constitue le colis primaire sont *a minima* la remise en suspension d'une partie de la contamination surfacique labile du colis concerné voire, en fonction de la sollicitation thermique, la remise en suspension d'une partie de l'activité présente au sein même du colis.

Comme pour les situations précédentes la LDCA est établie sur la base des inventaires radiologiques des colis primaires (cf. Chapitre 3.1.2 du présent volume). Elle est calculée en s'appuyant sur les hypothèses de remise en suspension présentées ci-après. Il est distingué le cas où l'évènement mobilise uniquement la contamination surfacique des colis du cas où la contamination surfacique et le contenu radiologique peuvent être mobilisés.

La remise en suspension de substances radioactives déposées sur un support non combustible (contamination labile) est fonction de la volatilité des radionucléides lors d'un incendie. Elle est modélisée par une fraction de remise en suspension instantanée. Dans le cas de scénarios d'incendie, comme précédemment, les radionucléides ^{239}Pu et ^{137}Cs sont retenus comme représentatifs de la contamination surfacique respectivement alpha et béta gamma.

La remise en suspension de substances radioactives du contenu radiologique interne du colis est fonction de la volatilité des radionucléides lors d'un incendie. Les effets de rétention des aérosols par les matrices et les conteneurs de stockage (hors conteneurs en aciers pour les colis primaires en stockage direct) sont pris en compte en s'appuyant sur les hypothèses rappelées dans tableau 4-7 ci-après.

Tableau 4-7 *Facteurs de rétention des aérosols vis-à-vis des matrices et des conteneurs en cas d'incendie*

Facteurs de rétention des aérosols vis-à-vis de la matrice et des conteneurs en cas d'incendie (0 équivaut à une rétention totale ; 1 équivaut à une rétention nulle)			
Type de conditionnement	**Type de radionucléides**	**Taux de remise en suspension du contenu du colis de déchets (τ)**	
Déchets bloqués/ enrobés dans un liant hydraulique[18]	Reste de l'inventaire radiologique	Pas de remise en suspension d'aérosols jusqu'à 400 °C	
Enrobé bitumineux	Reste de l'inventaire radiologique	Pas de remise en suspension d'aérosols jusqu'à 100 °C (température de conception permettant d'exclure le risque d'emballement à ce stade des études[19])	% de l'IR du colis en fonction du volume de déchet dépassant le seuil de température et de la durée de dépassement
Déchets (avec matières organiques) sans matrice de blocage ou d'enrobage[20]	Reste de l'inventaire radiologique	Pas de remise en suspension d'aérosols jusqu'à 200 °C	% de l'IR du colis en fonction du volume de déchet dépassant le seuil de température et de la durée de dépassement

Au regard de leur conception, aucune remise en suspension du contenu radioactif interne solide n'est considérée pour les colis avec une matrice vitreuse.

Le tableau 4-8 présente les niveaux de contamination atmosphérique potentiellement atteints en situations accidentelles d'incendie mobilisant uniquement la contamination surfacique externe du colis concerné.

[18] Il s'agit des familles de déchets conditionnés dans les conteneurs de type :
C1PG[SP] pour EDF ;
CBF-C'2, fût ECE et CAC pour COG ;
870 L, coque 500 L, conteneur et fût acier, 500 L acier pour CEA.

[19] Cette température sera réévaluée sur la base d'avancées de la connaissance qui par exemple pourront être alimentées par les résultats des études du programme Babylone.

[20] Il s'agit des familles de déchets conditionnés dans les conteneurs de type CSD-C (COG-070, COG-100 à 120, COG-450, COG-460, COG-490, COG-530 à 560), coque 5 m3 (CEA-231), EIP (CEA-232) et C5 (COG-430).

Tableau 4-8 *Évaluation des grandeurs caractéristiques relatives à une mobilisation de la contamination surfacique labile en cas d'incendie*

Mobilisation de la contamination surfacique labile du colis en cas d'incendie				
Type de colis de stockage (Nb CP/CS)		Familles de colis retenues		
MA-VL	CS 1 (2)	CEA-232	$2{,}23 \times 10^{2}$	$1{,}90 \times 10^{3}$
	CS 2.1 (1)	COG-050	$4{,}81 \times 10^{2}$	$1{,}89 \times 10^{3}$
	CS 2.2 (4)	COG-070/COG-100/CCG-110/COG-120	$1{,}94 \times 10^{2}$	$1{,}89 \times 10^{3}$
	CS 2.3 (2)	CEA-060/CEA-110/CEA-120/CEA-440	$3{,}43 \times 10^{2}$	$1{,}89 \times 10^{3}$
	CS 3 (1)	COG-040/CCG-440	$6{,}80 \times 10^{2}$	$2{,}03 \times 10^{3}$
	CS 4.1 (4)	CEA-1000/CEA-1010/CEA-1020	$3{,}26 \times 10^{2}$	$2{,}34 \times 10^{3}$
	CS 4.2 (5)	COG-020/CCG-420	$2{,}27 \times 10^{2}$	$2{,}34 \times 10^{3}$
	CS 5.1 (1)	CEA-050/CEA-080/CEA-090/CEA-1510	$5{,}34 \times 10^{2}$	$2{,}27 \times 10^{3}$
	CS 5.2 (1)	CEA-100	$5{,}345 \times 10^{2}$	$2{,}27 \times 10^{3}$
	CS 5.3	EDF-080	$5{,}62 \times 10^{2}$	$2{,}27 \times 10^{3}$
	CS 5.4 (4)	COG-400/CCG-430	$2{,}71 \times 10^{2}$	$2{,}27 \times 10^{3}$
	CS 6 (1)	CEA-290/CEA-300/CEA-450	$6{,}28 \times 10^{2}$	$2{,}55 \times 10^{3}$
	CS 7 (1)	CEA-231	$1{,}20 \times 10^{3}$	$2{,}55 \times 10^{3}$
	CS 21 (1)	EDF-080/EDF-090 (unitaire)	$5{,}62 \times 10^{2}$	
	CS 22 (6)	COG-100/COG-110/COG-120 (six par panier)	$1{,}94 \times 10^{2}$	$2{,}64 \times 10^{3}$
	CS 23 (1)	COG-030 (uritaire)	$4{,}60 \times 10^{2}$	
	CS 24 (1)	CEA-050/CEA-330/CEA-1100 (unitaire)	$5{,}34 \times 10^{2}$	
	CS 25	Non définie[21]	Non définie	
	CS 26 (4)	CEA-070/CEA-140/CEA-150/CEA-280/CEA-1180 (quatre par panier)	$2{,}31 \times 10^{2}$	$2{,}24 \times 10^{3}$

[21] Familles de colis non encore produits à ce jour et dont le conditionnement est encore à déterminer [AD].

Mobilisation de la contamination surfacique labile du colis en cas d'incendie				
Type de colis de stockage (Nb CP/CS)		Familles de colis retenues	[redacted]	
	CS 27	Non définie	Non définie	
HA	CS 13	COG-150	$1,89 \times 10^{2}$	$3,84 \times 10^{2}$
	CS 10	CEA-1190/CEA-200	$8,12 \times 10^{1}$	$3,50 \times 10^{2}$
	CS 15	CEA-1070/CEA-1030/CEA-350	$1,81 \times 10^{2}$	$5,75 \times 10^{2}$
	CS 14	COG-140/COG-200/COG-800	$1,89 \times 10^{2}$	$3,84 \times 10^{2}$

4.1.4 La sûreté-criticité

Vis-à-vis du risque de criticité, les études de sûreté ont pour objectif de définir un domaine d'admissibilité en configurations normales et anormales de l'INB Cigéo.

Afin de valider ce domaine d'admissibilité et de le situer en termes de marges disponibles, il est nécessaire de considérer les valeurs maximales de matières fissiles mesurées ou estimées par les producteurs. Le tableau 4-9 et le tableau 4-10 présentent la masse fissile maximale mesurée ou estimée par colis primaire, respectivement HA et MA-VL selon le type de colis de stockage.

Pour les colis de déchets présentant moins de 5 grammes de matière fissile ou de l'uranium dont l'enrichissement est inférieur à 1 %, il est considéré qu'il n'y a pas de problématique de criticité.

Tableau 4-9 *Masse fissile maximale mesurée ou estimée par colis primaire MA-VL selon le type de colis de stockage*

Type de colis de stockage	Type de colis primaire	Masse fissile maximale mesurée ou estimée par CP (g)
CS 1	EIP	35
CS 2.1	CAC	87,5 (COG-050)
CS 2.2	CSD-C	117,5 (eq ^{239}Pu) (COG-100)
CS 2.3	500 L MI	182,2 (CEA-110)
CS 3	C&E cimentés	345 (COG-040)
	F&R cimentés	Non définie
CS 4.1	Sur-fût EIP	35 (CEA-1020)
CS 4.2	Fût 218 L	10 (COG-020, 420)
CS 5.1	870 L	133 (CEA-330)

Type de colis de stockage	Type de colis primaire	Masse fissile maximale mesurée ou estimée par CP (g)
CS 5.2	870 L (CEA-100)	1,25 (CEA-100)
CS 5.4	PIVIC	Non définie
CS 6	Conteneur acier 2979 L	650 (^{235}U) (CEA-450)
CS 7	5000 L	U_{nat} ≤ 0,7 % (CEA-231)
CS 21	C1PG^{SP}	1,2 (EDF-080, 090)
CS 22	CSD-C	117,5 (eq ^{239}Pu) (COG-100)
CS 23	CBF-C'2	70 (COG-030)
CS 24	870 L	133 (CEA-330)
CS 25	Colis primaire type CS2 mi-hauteur	Non définie
CS 26	500 L FI	80
CS 27	Type CS2	Non définie

Tableau 4-10 *Masse fissile maximale mesurée ou estimée par colis primaire HA selon le type de colis de stockage*

Type de conditionnement	Type de colis primaire	Masse fissile maximale mesurée ou estimée par CP (g)
CS 14	CSD-V	36 (COG-800)
CS 15	Déchets vitrifiés AVM	86 (CEA-1080)
CS 13	CSD-U	22,4 (COG-150)
	CSD-B, CSD-RB	63 (COG-470)
CS 10-1	Piver type I	153,3 par colis Piver (CEA-200)
CS 10-2	Piver type II	2,12 CEA-200)
CS 10-4	Piver type IV	134,1 (CEA-200)

4.1.5 L'évacuation de la puissance thermique des colis de déchets

Les puissances thermiques constituent une donnée d'entrée importante pour évaluer le respect des critères de températures maximales et, le cas échéant, dimensionner certains ouvrages et équipements de l'INB (comme, par exemple les équipements de ventilation et le génie civil des ouvrages de l'INB).

Les données fournies dans ce chapitre n'ont pas vocation à être utilisées pour le dimensionnement thermo-hydraulique-mécanique (THM) des quartiers de stockage qui fait l'objet d'études dédiées. Pour les installations de surface et les opérations de transfert, des valeurs forfaitaires enveloppes sont prises comme grandeurs caractéristiques pour le dimensionnement de la ventilation, des équipements de transferts et du génie civil en tant que de besoin, telles que :

- une valeur de 15 W par colis primaire et 90 W par panier de stockage de colis primaires MA-VL 60 W pour les colis primaires de type C1PG^{sp} (EDF-080) ;
- une valeur de 50 W pour les colis du quartier pilote HA ;
- une valeur de 500 W pour les colis HA1/HA2 du quartier de stockage HA.

Pour les ouvrages souterrains, les grandeurs caractéristiques vis-à-vis de l'évacuation de la puissance thermique des colis primaires sont déterminées en retenant, pour chaque type de colis de stockage, la valeur la plus pénalisante (arrondie) parmi les valeurs de puissance thermique moyenne évaluées pour chacune des familles de colis qui lui sont associées. Au regard des équipements et ouvrages à dimensionner vis-à-vis du risque considéré (notamment ventilation et génie civil), ces valeurs moyennes sont retenues pour couvrir les lots de colis à stocker.

Pour s'affranchir des chroniques de livraison, les grandeurs caractéristiques retenues correspondent à des valeurs de puissance thermique à date de début de stockage[22] ou à date de déclaration lorsque celle-ci est postérieure à cette date.

Le tableau 4-11 présente les valeurs des puissances thermiques par type de colis de stockage caractéristiques des familles de colis les plus pénalisantes, à réception.

Tableau 4-11 *Grandeurs caractéristiques relatives à la puissance thermique par type de colis de stockage et familles de colis associées (valeur à réception)*

Type de colis de stockage	Famille la plus pénalisante	Puissance par CP (W)
CS 1	CEA-232	0,012 (2 CP/CS)
CS 2.1	COG-050	0,22 (1 CP/CS)
CS 2.2	COG-110	15 (4 CP/CS)
CS 2.3	CEA-110	0,46 (2 CP/CS)
CS 3	COG-440	4,98 (1 CP/CS)
CS 4.1	CEA-1020	0,16 (4 CP/CS)
CS 4.2	COG-020	0,063 (5 CP/CS)
CS 5.1	CEA-1510	10 (1 CP/CS) 23
CS 5.2	CEA-100	0,01 (1 CP/CS)

[22] Les dates de stockage retenues pour l'établissement des grandeurs caractéristiques sont 2030 pour le quartier de stockage MA-VL et le quartier pilote HA et 2080 pour le quartier de stockage HA.

[23] Le dossier de connaissances de la famille CEA-1510 précise que « la puissance thermique des colis sera inférieure à 10 W à la date de mise en stockage profond ».

Type de colis de stockage	Famille la plus pénalisante	Puissance par CP (W)
CS 5.3	EDF-080	60 (1 CP/CS)
CS 5.4	COG-400	5,24 (4 CP/CS)
CS 6	CEA-450	0,582 (1 CP/CS)
CS 7	CEA-231	0,03 (1 CP/CS)
CS 21	EDF-080	60 (1 CP/CS 21)
CS 22	COG-110	15 (6 CP/CS 22)
CS 23	COG-030	0,68 (1 CP/CS 23)
CS 24	CEA-330	0,9 (1 CP/CS 24)
CS 25	Non définie[24]	Non définie
CS 26	CEA-280	0,11 (4 CP/CS 26)
CS 27	Non définie[24]	Non définie
Colis HA0 – quartier pilote HA	COG-150	50 W
Colis HA0 en intercalaires – quartier de stockage HA	CEA-1080	92,3 en 2075
HA1	COG-800	331(1) (vieilli 85 ans)
HA2	COG-200	438(1) (vieilli 70 ans)

Pour le quartier pilote, la famille particulière de colis de déchets COG-870 n'est pas retenue dans le cadre du dimensionnement de l'installation. Pour cette famille, la puissance thermique est de 150 W/colis. Cependant, cette famille est intégrée dans la démonstration de sûreté apportée au volume 9 du présent rapport.

Le dimensionnement THM de l'installation est défini avec les grandeurs caractéristiques pour le long terme après la fermeture définitive de l'installation de stockage présentées au chapitre 4.2.1 du présent volume.

4.1.6 L'évacuation des gaz produits par radiolyse et par corrosion interne des colis de déchets

La production de gaz de radiolyse et de corrosion par les colis de déchets peut impacter le dimensionnement de la ventilation des locaux/alvéoles, les délais maximaux admissibles pour rétablir la ventilation ou intervenir sur les moyens de transfert des colis en leur présence en cas de blocage, afin d'éviter la formation d'atmosphère explosive.

Le critère retenu pour sélectionner les grandeurs caractéristiques vis-à-vis du risque d'apparition d'atmosphère explosive est le débit d'hydrogène produit par colis primaire. Cela concerne exclusivement les familles de déchets MA-VL.

Pour chaque type de colis de stockage, la valeur de production de gaz de radiolyse de la famille la plus pénalisante est retenue et appliquée au colis de stockage (CS) selon le nombre de colis primaires qu'il contient ; elle est arrondie à la dizaine supérieure.

[24] Familles de colis non encore produits à ce jour et dont le conditionnement est encore à déterminer [AD].

Lorsqu'aucune valeur n'est disponible, il est retenu une valeur de 40 L/CS/an[25] respectant les spécifications préliminaires d'acceptation de l'INB Cigéo définies au stade du Dossier d'options de sûreté (7, 8). Cette valeur est également appliquée aux paniers de regroupement pour le stockage direct.

Ainsi, le dimensionnement tient compte des débits d'hydrogène associés aux familles de colis présentés dans le tableau 4-12.

Tableau 4-12 *Débit d'hydrogène en L/an par colis de stockage pour les familles retenues en référence pour les études de dimensionnement*

Type de colis de stockage	Famille retenue	Debits H_2 (L/CS/an)
CS 1	CEA-232	40
CS 2.1	COG-050	40
CS 2.2	COG-100, COG-110, COG-120	10
CS 2.3	CEA-110, CEA-120	30
CS 3	COG-040	10
CS 4.1	CEA-1020, CEA-480	40
CS 4.2	COG-020, COG-420	50
CS 5.1	CEA-050, CEA-090	20
CS 5.2	CEA-100	40
CS 5.4	COG-430	70
CS 6	CEA-290, CEA-300, CEA-450	40
CS 7	CEA-231, COG-560	40
CS 21	EDF-080, EDF-090, EDF-100	90
CS 22	COG-100, COG-110, COG-120	10
CS 23	COG-030	40
CS 24	CEA-050, CEA-330	40
CS 25	Non définie[26]	Non défini
CS 26	CEA-070, CEA-140, CEA-150, CEA-280, CEA-320, CEA-1180	40
CS 27	Non définie[26]	Non défini

Les familles particulières de colis de déchets partageant le même conteneur de stockage sont présentées dans le tableau 4-13. Ces familles ne sont pas retenues dans le cadre du dimensionnement de l'installation. Cependant, la démonstration de leur prise en charge est apportée au volume 9 du présent rapport.

[25] Sauf pour les familles de colis non encore produits à ce jour et dont le conditionnement est encore à déterminer [AD] (cf. Chapitre 4.1.1 du présent volume).
[26] Familles de colis non encore produits à ce jour et dont le conditionnement est encore à déterminer [AD].

Tableau 4-13 *Familles particulières présentant un nombre réduit de colis avec un débit d'hydrogène élevé*

Type de colis de stockage	Familles retenues	Débit H_2 (L/CS/an)	Nombre de CS
CS 2.2	COG-460	50	125
	COG-070, COG-490, COG-450, COG-530, COG-540, COG-550	40	532
CS 3	COG-440	120 en moyenne Une dizaine de colis à 300	121
	CEA-380	40	3
CS 5.1	AND-000	40	19
CS 22	COG-450, COG-530, COG-540, COG-550	40	303

4.2 Les « grandeurs caractéristiques » pour le long terme après la fermeture définitive de l'installation de stockage

Pour le long terme, la notion de grandeur caractéristique s'applique aux caractéristiques qui ont un impact direct sur le dimensionnement des ouvrages de l'INB. Les autres caractéristiques qui peuvent intervenir dans la démonstration de sûreté après fermeture sont intégrées dans les évaluations selon la démarche exposée au chapitre 1 du volume 8 du présent rapport.

L'inventaire radiologique constitue une donnée d'entrée importante pour les évaluations de sûreté sur le long terme après fermeture. Les évaluations de sûreté après fermeture, notamment celle menées dans le cadre du Dossier d'options de sûreté, partie « après fermeture » (7) montrent l'importance des modalités de constitution de l'inventaire de référence en activité radiologique en tenant compte de la connaissance acquise (ces modalités sont présentées au chapitre 3 du présent volume). S'ajoute à cet inventaire, l'inventaire en substances toxiques chimiques associées aux déchets.

Les grandeurs caractéristiques qui ont un impact direct sur le dimensionnement des ouvrages de l'INB sont des caractéristiques qui ont *in fine* des effets induits par la nature des colis de déchets. La maîtrise de ces effets induits peut être à l'origine de dispositions de conception afin d'en limiter leur conséquence en particulier sur les caractéristiques favorables du Callovo-Oxfordien, composant important pour la sûreté après fermeture. En effet, les colis de déchets, sans considérer leur mise en conteneur de stockage, peuvent induire des perturbations et modifier par exemple les propriétés de transport et rétention (solubilité et sorption) du Callovo-Oxfordien du fait de leur thermicité ou de la présence de certaines substances associées aux déchets.

Ne sont considérées comme des grandeurs caractéristiques vis-à-vis de la sûreté après fermeture, que les caractéristiques des colis de déchets qui sont à l'origine de dispositions de conception :

- la puissance thermique des déchets : celle-ci peut induire pendant une certaine période, une perturbation thermique du Callovo-Oxfordien. Elle est à l'origine de dispositions pour en limiter les conséquences sur les argilites et pour la maîtrise du comportement des radionucléides ;

- la présence de substances dans certains déchets MA-VL, en particulier des substances organiques complexantes et des sels : elles sont susceptibles d'induire des perturbations chimiques modifiant les propriétés de transport et rétention (solubilité et sorption) du Callovo-Oxfordien ;
- la présence d'isotopes fissiles : elle est susceptible en cas d'excursion critique de modifier diverses caractéristiques favorables du Callovo-Oxfordien.

4.2.1 La puissance thermique des colis de déchets

La puissance thermique des colis de déchets peut modifier diverses caractéristiques favorables du Callovo-Oxfordien. Pour maîtriser les conséquences de la perturbation engendrée, plusieurs dispositions sont retenues selon les caractéristiques affectées.

La température intervient sur la solubilité des radionucléides et des substances toxiques chimiques dans le Callovo-Oxfordien. Les alvéoles de stockage et le milieu environnant sont ainsi maintenus dans un domaine de température où le comportement des radionucléides et substances toxiques chimiques en solution est maîtrisé. Le dimensionnement de l'installation est envisagé pour que la température reste inférieure à 70 °C (sur une période inférieure à 10 000 ans) dans le Callovo-Oxfordien afin de maîtriser le comportement des radionucléides.

La température peut également conduire à des transformations minéralogiques significatives et irréversibles des argilites. Des dispositions sont prises pour que l'évolution des températures, à l'échelle du Callovo-Oxfordien et jusqu'au million d'années, reste dans un domaine où les phénomènes sont maîtrisés : la température maximale des argilites reste toujours inférieure à 100 °C (pour tenir compte des incertitudes, une marge de 10 °C est adoptée pour le dimensionnement).

La puissance thermique des déchets est également dimensionnante vis-à-vis des processus thermo-hydro-mécaniques et leur couplage (THM) qui se produisent dans le Callovo-Oxfordien à proximité des alvéoles HA[27]. Bien que l'architecture planaire en micro-tunnel des alvéoles HA soit particulièrement favorable à la dissipation de la chaleur des déchets HA dans le Callovo-Oxfordien, l'Andra retient le principe d'un dimensionnement THM du quartier de stockage HA qui conduit à réduire la densité de charge thermique. Les dispositions prises concernent :

- l'espacement des alvéoles entre eux ; les alvéoles de stockage sont disposés dans les quartiers HA de façon à évacuer passivement la puissance thermique des déchets en limitant les perturbations thermique et thermo-hydro-mécanique (THM) du Callovo-Oxfordien. Ceci est atteint en :
  - ✓ limitant la température des argilites au contact de l'alvéole à 100 °C (et même 90 °C en retenant une marge de 10 °C) ;
  - ✓ limitant la contrainte effective maximale de Terzaghi vu par la roche hôte.
- l'espacement des colis de déchets stockés dans les alvéoles. L'espace entre deux colis de stockage HA1/HA2 est garanti par des dispositions de conception (l'insertion de colis de stockage MA-VL de gabarit adapté ou de colis HA0 ou froids ou d'espaces vides entre colis), (cf. Volume 5 du présent rapport). Ces dispositions ne sont pas nécessaires pour les déchets HA stockés dans le quartier pilote du fait de leurs caractéristiques thermiques.

  Les grandeurs caractéristiques retenues pour le dimensionnement THM correspondent aux puissances moyennes des colis HA1/HA2 :
  - ✓ 270 W pour un colis type COG-140 et assimilés de 85 ans ;
  - ✓ 331 W pour un colis de type COG-800 de 85 ans ;
  - ✓ 352 W pour un colis type COG-200 de 85 ans ;
  - ✓ 438 W pour un colis type COG-200 de 70 ans.

[27] La conception des alvéoles ne doit pas induire sur le Callovo-Oxfordien sain d'endommagent mécaniques liés au transitoire-hydraulique/gaz (H_2, surpression interstitielle d'origine thermique).

4.2.2 Les substances dans les déchets MA-VL

Certaines substances associées aux déchets, sans considérer leur mise en conteneur de stockage, peuvent être à l'origine de perturbations du Callovo-Oxfordien et modifier ses propriétés de transport et rétention (solubilité et sorption).

Les principales perturbations chimiques induites par les déchets sont (i) la perturbation organique due à la dégradation des déchets MA-VL riches en composés organiques susceptibles de générer des espèces complexantes, et (ii) la perturbation saline due aux déchets MA-VL salins.

Pour maîtriser la mobilité des radionucléides et des substances toxiques chimiques dans le Callovo-Oxfordien, une séparation entre certains colis de déchets MA-VL susceptibles de générer des perturbations chimiques est retenue. La conception du quartier de stockage MA-VL vise à en réduire l'effet à la fois dans le Callovo-Oxfordien et sur les autres alvéoles en définissant des dispositions restrictives en matière de co-stockage des déchets MA-VL. Les familles de colis ont été regroupées en sept catégories en considérant que l'ensemble des colis d'une même catégorie, quelle que soit leur famille d'appartenance, était co-stockable d'un point de vue physico-chimique. Cette catégorisation permet l'identification des familles de déchets susceptibles d'être placés dans un même alvéole.

Les sept catégories retenues sont les suivantes :

- MA-VL1 : colis de déchets contenant une quantité significative de sels hors colis de déchets bitumées ;
- MA-VL2 : colis de déchets bitumés en l'état ;
- MA-VL3 : colis contenant des déchets (ou autre constituant du colis hors matrice) composés de matières organiques ;
- MA-VL4 : colis de déchets non ou faiblement exothermiques cimentés ne contenant ni matière organique[28] ni sels ;
- MA-VL5 : colis de déchets non ou faiblement exothermiques non cimentés[29] ne contenant ni matière organique[30] ni sels, notamment les déchets de structure issus du traitement des combustibles ;
- MA-VL6 : colis de déchets vitrifiés, non ou faiblement exothermiques, éventuellement après une phase préalable d'entreposage de décroissance qui permet de les déclasser de la catégorie HA0 ;
- MA-VL7 : colis de déchets sodés[31].

Le tableau en annexe 1 du présent volume, donne la répartition des familles de colis primaires par catégorie.

4.2.3 Les isotopes fissiles

Les isotopes fissiles des colis de déchets peuvent modifier diverses caractéristiques favorables du Callovo-Oxfordien en cas d'excursion critique. Pour maîtriser les conséquences de la perturbation engendrée, il est retenu d'exclure l'occurrence d'une excursion critique. Cela passe par des dispositions d'arrangement en alvéole.

Sur cette base, les masses maximales des colis de déchets issues des données producteurs sont comparées aux masses maximales admissibles permettant de maitriser le risque de criticité.

[28] À l'exception des étiquettes sur étuis intermédiaires, colle ou peinture.
[29] Les matrices à base de géopolymères entrent dans cette catégorie.
[30] À l'exception des étiquettes sur étuis intermédiaires, colle ou peinture.
[31] Sodium métallique interdit au stade actuel des spécifications préliminaires.

5

Les spécifications préliminaires d'acceptation des colis de déchets

5.1 La démarche de construction des spécifications d'acceptation 94
5.2 La structuration des spécifications d'acceptation 96
5.3 Les critères spécifiés 96

Les spécifications d'acceptation des colis mentionnées à l'article L. 542-12 du code de l'environnement définissent les critères qu'un colis de déchets radioactifs définitif doit respecter pour être accepté dans l'INB.

Les spécifications d'acceptation des colis contribuent à garantir la sûreté de l'INB (installations de surface et souterraine) dès sa mise en service (réception du premier colis) et pour toutes les phases de vie ultérieures. Le processus d'acceptation des colis mis en œuvre avant la mise en service puis pendant toute la durée de fonctionnement de l'INB s'appuiera notamment sur les spécifications d'acceptation approuvées par l'ASN. Les spécifications d'acceptations seront incluses dans les règles générales d'exploitation (RGE) de l'installation.

Conformément à l'article 4.2.2 de la décision n° 2017-DC-0587 relative au conditionnement de l'Autorité de sûreté nucléaire (10), l'Andra présente une version préliminaire des spécifications d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans le dossier de demande d'autorisation de création (4). Ces spécifications préliminaires d'acceptation, après d'éventuelles modifications, constitueront les spécifications d'acceptation une fois l'accord de l'ASN donné. Cet accord interviendra au plus tôt avec l'autorisation de création de l'installation. Ces spécifications ne portent que sur les colis reçus (colis primaires) et non sur les conteneurs de stockage (objet du chapitre 2 du présent volume) dont la responsabilité de la fabrication relève de l'Andra et non des producteurs de déchets (les processus associés seront liés aux RGE de l'INB).

Conformément à l'arrêté du 13 juin 2017 portant homologation de la décision n° 2017-DC-0587 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 mars 2017 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage (3), les colis de déchets radioactifs sont identifiés comme des éléments importants pour la protection au sens de l'arrêté du 7 février 2012 (2).

L'établissement des critères spécifiés aux colis primaires s'applique aux familles de colis HA et MA-VL selon les modes de stockage définis au chapitre 2 du présent volume (stockage des colis primaires MA-VL et HA après mise en conteneur de stockage, stockage des colis primaires MA-VL directement en alvéole). L'établissement des critères spécifiés aux colis primaires prend en compte les phases de vie de l'INB : les phases de fonctionnement, de démantèlement/fermeture puis les phases surveillance et long terme après fermeture.

5.1 La démarche de construction des spécifications d'acceptation

Les spécifications préliminaires d'acceptation portent sur les caractéristiques et propriétés radiologiques, physiques, mécaniques et chimiques des colis. Elles sont déclinées de la démonstration de sûreté de l'INB pendant son fonctionnement et après sa fermeture et établies eu égard aux besoins des producteurs.

Elles tiennent compte de la durée de fonctionnement et de surveillance.

Ainsi, l'établissement des spécifications préliminaires d'acceptation des colis résulte de la mise en œuvre d'une démarche qui relie la connaissance des colis de déchets radioactifs, la conception et la démonstration de sûreté associée. Le processus itératif permettant d'élaborer ces spécifications est présenté sur la figure 5-1, il est découpé en neuf étapes :

- **étape 1** : rassembler les données colis utiles au projet ;

  la connaissance des colis (inventaires et caractéristiques) fournie par les producteurs et suivie par l'Andra *via* le socle de connaissances Oscar, est utilisée pour définir les caractéristiques des colis supports à la conception et aux démonstrations de sûreté ;
- **étape 2** : identifier les objectifs de sûreté pour chaque thématique et vérifier que leurs implications sur les colis sont prises en compte ;

- **étape 3** : s'approprier les démonstrations de sûreté en phase de fonctionnement et en phase après fermeture à long terme (3a) intégrant la conception et le dimensionnement de l'INB (3b) afin de définir les études spécifiques à l'élaboration des spécifications puis traduire les caractéristiques attendues des colis, qui valident ces démonstrations de sûreté, en critères spécifiés aux colis de déchets ;
- **étapes 5/6** : rédiger les critères spécifiés aux colis de déchets radioactifs ainsi que le dossier de justification associé ;
- **étapes 4/7** : présenter la nature des critères spécifiés aux colis de déchets et leur quantification et échanger avec les producteurs ;
- **étape 8** : évaluer la compatibilité des critères spécifiés aux colis avec les données fournies par les producteurs ;
- **étape 9** : évaluer la compatibilité des critères spécifiés aux colis avec la conception de l'INB et les éventuels impacts sur l'exploitation.

Des boucles de cohérences sont effectuées à différentes étapes ce qui peut induire un éventuel retour sur la conception et/ou vers la démonstration de sûreté. *In fine*, la démonstration de sûreté, la conception et les spécifications d'acceptation doivent former un ensemble cohérent.

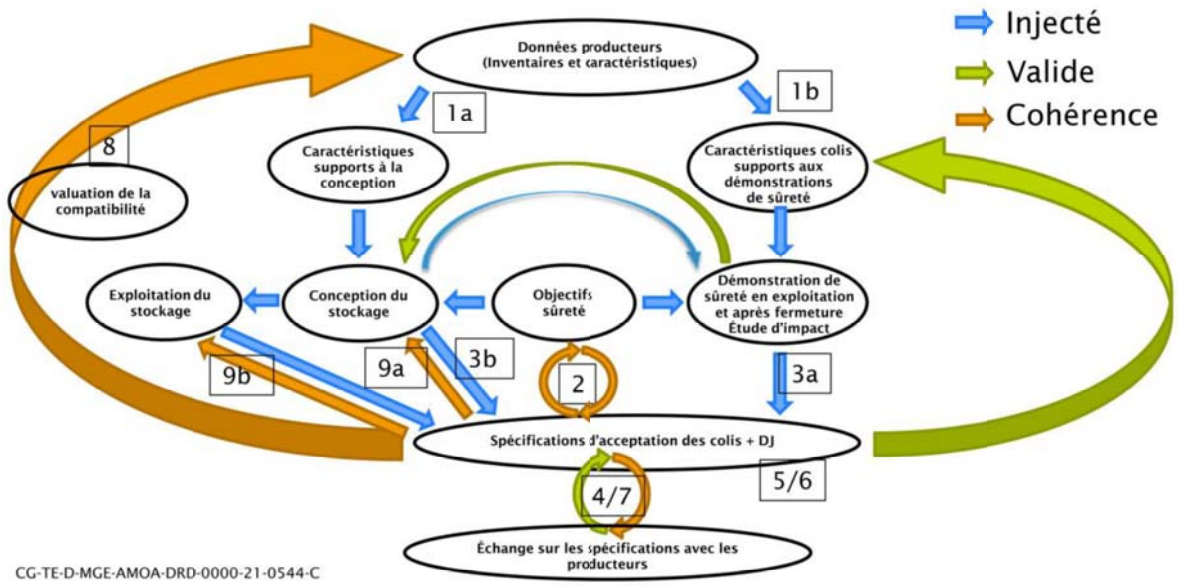


Figure 5-1 *Schéma présentant l'articulation de l'élaboration des spécifications préliminaires d'acceptation des colis de déchets de l'INB Cigéo avec la sûreté et la conception*

Les spécifications d'acceptation pourront être amenées à évoluer en lien avec le développement progressif de l'INB. Leur mise à jour suivra le processus de gestion des modifications et de réexamens décennaux propres aux INB. Leurs modifications se fera sur la base des contenus ultérieurs de la démonstration de sûreté et en cohérence avec l'installation telle que conçue et ses évolutions envisagées.

Concernant les familles de colis primaires dont la production n'a pas démarré au moment de l'émission de ce document, deux cas sont à distinguer :

- les familles dont le conditionnement est défini (familles « F », cf. Chapitre 1.1.4). Pour ces familles, les spécifications associées sont fondées sur les hypothèses de conditionnement retenues dans les études de conception et de sûreté d'avant-projet supports à la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo. En cas de modification du conditionnement initialement envisagé, les familles se trouveront rattachées au cas suivant ;

- les familles dont le conditionnement n'est pas défini (familles « AD », cf. Chapitre 1.1.4 du présent volume). Ces familles devront être compatibles avec le dimensionnement de l'installation. À ce titre, le producteur devra proposer un conditionnement permettant une analogie à des colis primaires existants. La compatibilité des caractéristiques de ces colis primaires sera évaluée au regard des spécifications d'acceptation applicables aux colis analogues. Si besoin, des études complémentaires seront réalisées pour démontrer la sûreté de leur stockage sur l'INB Cigéo ; un complément de spécifications et/ou une révision du conditionnement de la famille en découlera.

5.2 La structuration des spécifications d'acceptation

Les spécifications préliminaires d'acceptation des colis sont structurées de manière à être un outil opérationnel pour les producteurs et l'Andra.

Pour être accepté sur l'INB, tout colis primaire doit respecter :

- les spécifications générales d'acceptation applicables à tous les colis primaires ;

Et

- selon le quartier de destination et le mode de stockage du colis primaire, les spécifications particulières d'acceptation correspondantes.

L'architecture des spécifications préliminaires d'acceptation du dossier de demande d'autorisation de création (DAC) est schématisée sur la figure 5-2.

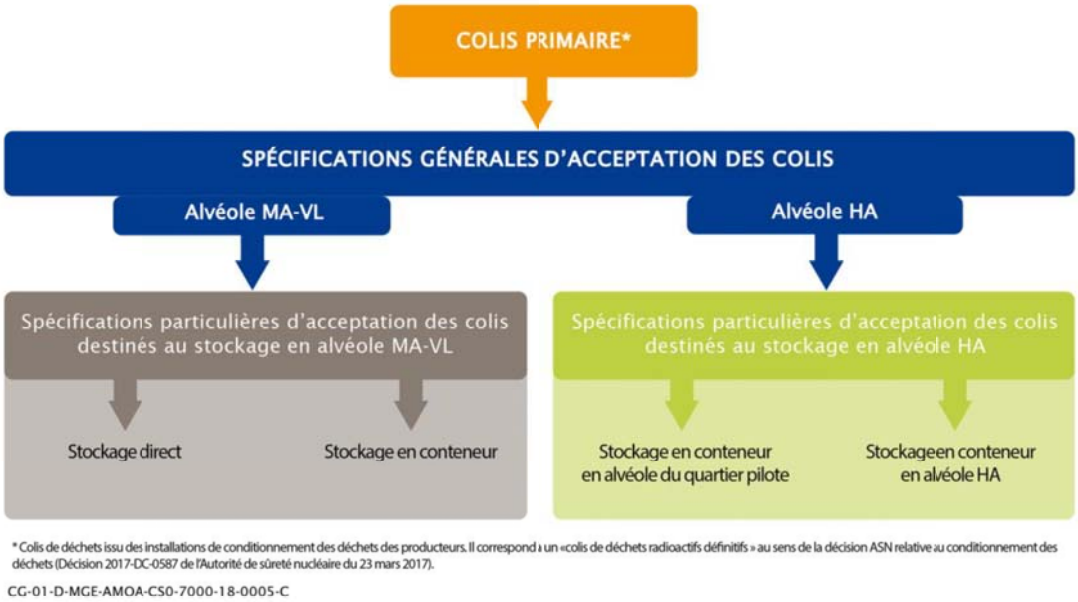


Figure 5-2 Schéma de principe d'architecture des spécifications d'acceptation

5.3 Les critères spécifiés

La mise en œuvre de la démarche de construction des spécifications préliminaires d'acceptation des colis présentée au chapitre 5.1 du présent volume, a permis d'identifier les thématiques nécessitant d'être spécifiées au regard des fonctions de sûreté.

Pour chacune de ces thématiques, un ou plusieurs critères sont déterminés de manière à être compatibles avec :

- la démonstration de sûreté ;
- le caractère justifiable pour le colis.

Ces critères peuvent être de nature déclarative, qualitative ou quantitative.

Les thématiques et leur déclinaison en critères sont recensées dans le tableau 5-1. L'ensemble de ces critères est précisé dans la pièce 19 « Version préliminaire des spécifications d'acceptation des colis » de déchets radioactifs (4).

Tableau 5-1 Thématiques objet des spécifications d'acceptation et critères associés

Thématiques	Critères
Spécifications générales	
Inventaire radiologique	Déclaration
Inventaire chimique	Déclaration
Connaissances relatives au comportement à long terme	Déclaration
Contamination surfacique	Limites à réception
Taux de vide	Déclaration Limite à respecter pour les colis futurs
Interface de préhension	Propriétés/performances à justifier
Spécifications particulières	
Identification	Présence d'identification
Masse	Limite à respecter
Géométrie	Limites à respecter
DED	Limites au contact et à un mètre
Matière fissile	Limite de matière fissile à respecter Limites géométriques inclues dans le critère spécifique
Dégagement de gaz inflammables produits par radiolyse et par corrosion interne	Limite de production de gaz
Dégagement de radionucléides gazeux	Déclaration
Puissance thermique	Limite à réception Déclaration de décroissance
Caractéristiques relatives au confinement statique	Confinant aux aérosols à réception Durabilité associée
Comportement en cas de chute	Hauteur de qualification à respecter

Thématiques	Critères
Comportement en cas de sollicitation thermique	Propriétés/performances attendues · Uniquement pour le stockage direct
Tenue au gerbage	Nombre de niveaux – Uniquement pour le stockage direct
Activité en ^{137}Cs et DED	Limite à réception - Uniquement pour les colis stockés en alvéoles HA

6

La maîtrise de la qualité des colis

6.1 Le processus de maîtrise de la connaissance des colis 100
6.2 Le processus de surveillance des colis 102
6.3 Le processus d'acceptation des colis 104
6.4 Le processus de gestion des écarts aux conditions d'une approbation 107

La maîtrise de la qualité des colis a pour objectif de s'assurer que les colis de déchets stockés ou à stocker dans l'INB Cigéo ne remettront pas en cause sa sûreté. Elle répond aux exigences de la décision n° 2017-DC-0587 de l'ASN relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage (10).

Ainsi, la maîtrise de la qualité colis s'étend de la définition du procédé de conditionnement jusqu'au stockage du colis et lie le producteur et l'Andra. De façon opérationnelle, il s'agit de vérifier que les colis destinés à l'INB Cigéo sont produits dans les conditions décrites par les producteurs et qu'ils répondent aux critères définis par la pièce 19 « Version préliminaire des spécifications d'acceptation des colis » (4).

Elle repose sur un ensemble de processus complémentaires et interfacés mis en œuvre par l'Andra en interface et/ou en complément de ceux mis en œuvre par les producteurs de leur colis de déchets radioactifs :

- le processus de maîtrise de la connaissance des colis ;
- le processus d'acceptation des colis ;
- le processus de surveillance ;
- le processus de gestion des écarts.

6.1 Le processus de maîtrise de la connaissance des colis

La connaissance des colis de déchets radioactifs repose sur les caractéristiques des colis transmises par les producteurs ainsi que sur l'ensemble des éléments capitalisés par l'Andra dans différents cadres.

Les caractéristiques des colis sont transmises directement par les producteurs de colis de déchets au travers du dossier de connaissances constitué en réponse aux besoins exprimés par l'Andra. Par ailleurs, la connaissance des colis s'appuie également sur l'évaluation et l'exploitation par l'Andra de l'ensemble des données à disposition (analyses notamment au travers des avis sur conditionnement, études de sûreté, de conception et scientifiques et technologique), ou sur le processus de surveillance de l'Andra.

L'ensemble de ces informations est regroupé au sein du socle de connaissances sur les colis de déchets, Oscar, partagé entre l'Andra et les producteurs. Maitriser la connaissance des colis consiste d'une part à recueillir, partager et archiver l'ensemble des données dans la durée, et d'autre part à évaluer la complétude et la robustesse de ces données et les exploiter dans le cadre des études de conception, phénoménologiques et de sûreté.

6.1.1 Recueillir, partager et archiver les données relatives aux colis

L'Andra recueille auprès des producteurs les données relatives aux colis dont elle a exprimé le besoin pour mener les études de conception, les analyses phénoménologiques ainsi que la démonstration de sûreté associée (en exploitation et après fermeture).

Ces données concernent l'origine des déchets, les procédés de conditionnement ou les hypothèses de conditionnement lorsque le conditionnement est à définir, les propriétés physico-chimiques des colis de déchets. Elles sont capitalisées au sein du socle de connaissances relatif aux colis de déchets qui permet, *via* sa base Oscar, de les organiser et de les mettre à disposition de l'ensemble des utilisateurs de connaissances de l'Andra, de garantir leur traçabilité ainsi que celle de leurs évolutions. Le socle de connaissance est également accessible aux producteurs.

Les nouvelles connaissances intégrées dans le socle de connaissances font l'objet d'un processus dédié de suivi des modifications des connaissances colis.

Celui-ci a pour objectif d'analyser de façon systématique leur impact sur la conception et à terme l'exploitation de l'installation et sur la démonstration de sûreté et cela avant injection vers ses derniers. Ce processus est mis en œuvre dans la base Oscar et archivé dans celle-ci permettant ainsi de conserver chaque analyse d'impact menée.

Le socle de connaissances capitalise également les connaissances recueillies par l'Andra dans le cadre du processus de surveillance des colis (cf. Chapitre 6.2 du présent volume) ainsi que celles relatives aux conteneurs de stockage conçus par l'Andra (cf. Chapitre 2 du présent volume).

De plus, en amont du processus d'acceptation, certaines familles de colis de déchets font l'objet d'avis sur conditionnement émis par l'Andra et donnant lieu le cas échéant à des accords de conditionnement délivrés par l'ASN sur la base d'un référentiel de conditionnement qui est intégré à la connaissance colis et, à ce titre, à la base Oscar. Pour l'exploitation de l'INB, le contenu du dossier de demande d'approbation transmis par le producteur complète les données colis capitalisés lors de la phase de conception.

Au sein du socle, toutes les connaissances sont « versionnées ». Cela signifie qu'à chaque réception d'une nouvelle connaissance, la version obsolète de la connaissance n'est pas effacée mais conservée, en historique, pour garantir la traçabilité de l'évolution de la donnée.

Par ailleurs, la configuration de l'état des connaissances est figée par une publication de la base (notion de photographie de la base Oscar) aux grandes étapes de développement du projet puis du développement progressif de l'INB.

6.1.2 Évaluer les données recueillies

L'Andra analyse les données recueillies auprès des producteurs afin d'évaluer la robustesse des connaissances transmises aux utilisateurs. Cette analyse vise à évaluer la complétude des données vis-à-vis des besoins de l'Andra, la pertinence de leur justification et la cohérence des données fournies au regard des documents justificatifs associés et de l'ensemble des sources d'informations à disposition de l'Andra.

Dans le cas d'une demande d'avis sur conditionnement, l'analyse porte également sur le processus de conditionnement du colis, les dispositions mises en place par le producteur et la compatibilité de ce conditionnement au regard du mode de stockage retenu.

Ces analyses sont regroupées dans le socle de connaissances Oscar et permettent notamment de définir un état de validation de la connaissance donnant une estimation du degré de confiance accordé à celle-ci.

Par ailleurs, toute nouvelle donnée transmise pendant la phase de conception, et en tout état de cause préalablement à tout choix de conception irréversible, fait l'objet d'un suivi et d'une analyse d'impact vis-à-vis de la conception de l'installation et de la démonstration de sûreté. Ce suivi et ces analyses sont formalisés au travers de fiches de modifications des connaissances colis et de fiches d'analyse d'impact qui sont créées, renseignées et validées dans le socle.

L'instruction du référentiel documentaire soumis dans le cadre du futur processus d'acceptation succèdera à cette phase d'analyse d'impact des modifications de connaissances colis.

6.1.3 Exploiter les données recueillies

L'utilisation de ces connaissances s'inscrit dans une démarche itérative, représentée schématiquement sur la figure ci-après.

Les données d'entrée sur les connaissances des colis primaires utilisées sont extraites directement du socle de connaissances :

- en prenant les données « brutes » (par exemple pour le dimensionnement des conteneurs de stockage) ;
- en sélectionnant en tant que de besoin les grandeurs caractéristiques vis-à-vis des risques ;

- le cas échéant en appliquant des marges pour tenir compte des incertitudes, par exemple pour l'élaboration de l'inventaire radiologique après fermeture (cf. Chapitre 3.1.3 du présent volume).

Ces connaissances correspondant à une grande variété de déchets d'origines et de caractéristiques diverses, aussi il est nécessaire d'identifier les familles de colis et plus particulièrement les caractéristiques à considérer pour le dimensionnement des installations et les études de sûreté associées permettant de couvrir cette variabilité. Il n'y a pas une sélection unique et absolue pour un même risque et une même catégorie de familles de colis mais plusieurs suivant la finalité.

6.1.3.1 Conception

L'utilisation des connaissances sur les colis pour la conception de l'INB Cigéo est multiple. Ainsi, l'architecture du stockage est définie en prenant notamment en compte le nombre, l'encombrement ainsi que les caractéristiques physico-chimiques, radiologiques et thermiques des colis. Les caractéristiques géométriques des colis primaires sont par exemple aussi des données prises en compte pour la définition des conteneurs de stockage.

Étant donné la grande variété des familles de colis primaires, l'Andra a par ailleurs, établi des grandeurs caractéristiques représentatives supports au dimensionnement des structures et équipements de l'INB au regard du mode de stockage prévu et des hypothèses de conditionnement retenues ou envisagées par les producteurs (cf. Chapitre 4 du présent volume).

6.1.3.2 Études de sûreté

Les études de sûreté reposent en grande partie sur les connaissances colis. Ainsi, celles-ci sont nécessaires en particulier pour :

- les études de sûreté en exploitation : calcul de l'impact des rejets gazeux radioactifs dans l'environnement en utilisant les inventaires radiologiques des radionucléides gazeux présents dans les colis ainsi que les taux de relâchement, estimation dosimétrique des personnes aux postes de travail sur la base des débits de dose des colis, vérification du bon dimensionnement des systèmes de ventilation sur la base de l'inventaire de contamination, analyse de sûreté criticité sur la base notamment de la masse de matière fissile contenue dans les colis.... Ces études de sûreté en exploitation reposent en grande partie sur la détermination de grandeurs caractéristiques ;
- les études de sûreté après-fermeture : étude de la migration de radionucléides jusqu'à la biosphère et évaluation de l'impact sur la base des inventaires présents dans les colis de déchets et des caractéristiques physico-chimiques de ces déchets permettant notamment d'évaluer le comportement des colis dans le temps en condition de stockage.

6.2 Le processus de surveillance des colis

Le processus de surveillance des colis contribue à la consolidation des analyses menées dans le cadre du processus d'acceptation. Pour cela, ses objectifs sont de :

- vérifier la mise en œuvre par le producteur des dispositions de maîtrise de la qualité colis décrites dans ses référentiels de conditionnement et d'entreposage ;
- vérifier la conformité des colis aux critères des spécifications d'acceptation des colis.

Dans ce cadre, l'Andra élabore les règles d'établissement du programme de surveillance et précise les dispositions de surveillance à mettre en œuvre par l'Andra sur les sites du producteur (conditionnement et entreposage) et sur l'INB. Ce programme et ces dispositions de surveillance sont soumises à l'accord préalable des exploitants des sites concernés. Toute famille décrite au chapitre 1 du présent volume fait ou fera l'objet d'une surveillance selon son état de production.

6.2.1 Le programme de surveillance

Le programme de surveillance des colis mené par l'Andra est élaboré pour chaque famille de colis annuellement.

La volumétrie et la fréquence des actions de surveillance par famille de colis de déchets dépendent de l'enjeu de cette famille au regard de la sûreté (type de stockage, critères spécifiés, variabilité du paramètre au sein de la famille, état de production de la famille...), du retour d'expérience de sa surveillance ainsi que des écarts détectés par l'Andra ou le producteur.

6.2.2 Les actions de surveillance Andra

6.2.2.1 Les audits et inspections

Les audits et inspections, menés par l'Andra sur un site de production et/ou d'entreposage des colis de déchets, ont pour objectif d'évaluer les dispositions de maîtrise de la qualité décrites dans le référentiel de conditionnement.

Deux types d'audits sont menés :

- les audits d'évaluation au démarrage de chaque nouvelle production de colis ;
- les audits de suivi au cours de la période de production et d'entreposage des colis.

Les dispositions de maîtrise de la qualité du colis évaluées lors des audits concernent aussi bien le processus de conditionnement que les approvisionnements, l'entreposage, la surveillance exercée par le producteur ou la gestion des écarts. Ils donnent également l'occasion de vérifier l'enregistrement, la traçabilité et l'archivage.

Par ailleurs, l'Andra mène des inspections techniques dont l'objectif est de vérifier, sur le terrain, l'application des dispositions prévues par l'exploitant dans un domaine ciblé (par exemples la préparation des déchets primaires chez un producteur d'origine ou la fabrication du colis).

6.2.2.2 La participation Andra à la surveillance réalisée par le producteur sur ses colis

Dans ce type de surveillance, l'Andra est observateur de la surveillance effectuée par le producteur (ou un tiers mandaté). Cet ensemble regroupe différents types de missions dont le but est d'évaluer ou de vérifier, sur le site du producteur, la mise en œuvre des dispositions de surveillance prévues par l'exploitant ou un tiers mandaté.

6.2.2.3 Les contrôles de déclaration informatique

Avant son expédition vers l'INB Cigéo, chaque colis de déchets fait l'objet, de la part du producteur, d'une déclaration de ses caractéristiques principales selon un guide de déclaration des caractéristiques de déchets à destination de l'INB Cigéo.

L'outil informatique permet un contrôle des caractéristiques d'un colis par comparaison aux valeurs des caractéristiques définies par l'Andra au cours du processus d'acceptation. En cas d'écart, un message d'alerte est émis vers le producteur et l'exploitant de l'INB Cigéo.

6.2.2.4 Les contrôles systématiques réalisés sur l'INB

Les contrôles systématiques sont réalisés à l'arrivée de chaque transport (dossier et emballage) puis sur chaque colis, permettant de vérifier l'identification des colis prévus d'être livrés et leur respect aux spécifications d'acceptation. Ils sont effectués au regard du dossier transport du colis et des déclarations effectuées par le producteur avant leur livraison.

Les contrôles sont les suivants :

- le contrôle documentaire. Il s'agit du contrôle du dossier « transport » accompagnant l'expédition dont relève les colis livrés ;
- les contrôles externes de l'emballage de transport. Il a pour objectif de démontrer la conformité des emballages de transport vis-à-vis de la réglementation des transports ADR (16) ;
- contrôle de la cavité interne des emballages de transport ;
- le contrôle du colis livré. Il consiste à réaliser les contrôles :
  - ✓ du numéro d'identification ;
  - ✓ de l'intégrité physique de colis ;
  - ✓ dimensionnels ;
  - ✓ de température à la surface du colis ;
  - ✓ du niveau de débit de dose ;
  - ✓ du niveau de contamination surfacique sur les surfaces accessibles ;
  - ✓ de la masse du colis.
- le contrôle de la bonne mise en place du couvercle du conteneur de stockage (béton ou panier métallique) et de son éventuel clavage pour les colis de déchets radioactifs MA-VL mis en conteneurs de stockage béton ;
- le contrôle de la soudure du colis de stockage réalisée pour les colis de déchets HA ;
- le contrôle des colis de stockage avant mise en hotte pour les chaines HA et MA-VL.

L'ensemble des contrôles est présenté dans le détail au volume 5 du présent rapport.

6.2.2.5 Les contrôles colis hors flux

Les contrôles colis hors flux viennent en complément des autres actions de surveillance et contribuent à s'assurer de l'efficacité des dispositions de maîtrise de la qualité des colis mises en œuvre préalablement par le producteur et l'Andra. Leurs fréquences et leurs modalités de contrôle sont proportionnées aux enjeux.

Ils correspondent à une expertise de paramètres des colis participant à la sûreté de l'INB Cigéo. Le temps de contrôle est adapté aux performances attendues de l'expertise (surface couverte, temps de mesure, précision...).

Les contrôles colis hors flux peuvent être réalisés sur le site du producteur de colis de déchets (sur le site de conditionnement ou sur le site d'entreposage) ou sur l'INB Cigéo. Outre les responsabilités qui incombent au producteur dans le cadre des contrôles hors flux sur son site, dans les deux cas, l'Andra est responsable de ces contrôles, c'est-à-dire du choix des colis à contrôler, de la méthodologie de mise en œuvre pour le contrôle et de la vérification de l'atteinte des performances de mesure attendues par l'équipement de mesure et l'opérateur. La liste des contrôles à effectuer sera définie par famille au moment de l'approbation.

Le volume 5 du présent rapport décrit à titre illustratif des contrôles hors flux qui pourraient être réalisés.

6.3 Le processus d'acceptation des colis

Le processus d'acceptation des colis comprend quatre étapes successives :

- l'approbation de la famille de colis ;
- l'accord de prise en charge de colis ;
- l'accord de livraison ;
- l'acceptation d'un colis.

Les objectifs du processus d'acceptation des colis sont de :

- vérifier sa conformité aux spécifications d'acceptation des colis (cf. Chapitre 5 du présent volume), au regard de l'ensemble des connaissances acquises et du référentiel de conditionnement transmis par le producteur. Les vérifications portent sur :
  - ✓ les valeurs (quantitatives) ou caractéristiques qualitatives présentés dans les spécifications d'acceptation des colis de l'INB Cigéo ;
  - ✓ les dispositions de maîtrise de la qualité mises en œuvre par le producteur devant garantir les valeurs ou caractéristiques qualitatives déclarées par le producteur.
- définir le programme de surveillance pour la famille de colis ;
- analyser la possibilité de prendre en charge des colis détectés non conformes aux spécifications ;
- tracer et archiver les informations recueillies ou émises ainsi que leurs justifications.

Deux étapes du processus d'acceptation des colis sont imposées par la décision n° 2017-DC-0587 de l'ASN relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les INB de stockage (10) : l'approbation d'une famille de colis et l'acceptation d'un colis. L'Andra prévoit en sus de définir des accords de prise en charge et de livraison.

La gestion et le référentiel retenus pour les cas particuliers et la gestion des écarts sont présentés au chapitre 6.4 du présent volume.

6.3.1 L'approbation d'une famille de colis

Telle que définie par la décision conditionnement, l'approbation est l'acte par lequel l'Andra exploitant d'une INB de stockage disposant de spécifications d'acceptation des colis de déchets radioactifs matérialise un accord générique sur les dispositions relatives au conditionnement de déchets radioactifs sous la forme d'un colis de déchets radioactifs définitif selon une procédure donnée.

La demande d'approbation du producteur est présentée par rapport à un mode de stockage (cf. Chapitre 2 du présent volume) de manière à sélectionner la spécification applicable (cf. Chapitre 5 du présent volume). Le choix du mode de stockage pour une famille de colis est effectué dans le cadre d'une concertation préalable entre l'Andra et le producteur.

La constitution du dossier de demande d'approbation dont l'attendu minimal est décrit dans la décision n° 2017-DC-0587 de l'ASN relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les INB de stockage (10) est établi par le producteur et envoyé à l'Andra. Ce dossier vise à justifier d'une part que les colis de déchets respectent les spécifications d'acceptation, d'autre part que les conditions de production et d'entreposage permettent de garantir les caractéristiques et propriétés des colis de déchets annoncées dans le référentiel de conditionnement.

Pour les familles de colis pour lesquelles des échanges techniques entre le producteur, l'ASN et l'Andra ont été menés avant la validation des spécifications d'acceptation des colis par l'ASN et formalisés par un avis sur conditionnement émis par l'Andra et/ou une décision de l'ASN ; ces avis seront repris dans le dossier support à l'instruction de l'approbation.

Le processus d'approbation commence par l'analyse de la recevabilité suite à la réception du dossier de demande d'approbation.

L'analyse de l'Andra porte sur les caractéristiques prévues des colis, leur procédé de fabrication, la méthodologie d'évaluation d'activité et les contrôles associés ainsi que sur les dispositions organisationnelles et de maîtrise de la qualité prévues pour leur fabrication et leur entreposage

L'objectif de l'analyse est de vérifier que les caractéristiques des colis étudiés ne remettent pas en cause la démonstration de sûreté de l'installation de stockage et plus globalement la protection des intérêts définie par le code de l'environnement.

À cette fin, l'Andra pourra, en tant que de besoin, demander au producteur de réaliser des vérifications, des caractérisations, des épreuves techniques, des contrôles afin de compléter son dossier d'approbation. Ces demandes de compléments de justification suspendent le délai d'instruction de l'approbation qui est fixé à six mois à compter de la date de recevabilité.

L'approbation est révisée en cas de modifications des spécifications d'acceptation des colis de l'INB Cigéo ou sur demande du producteur en cas de modifications de son référentiel de production qui modifie le dossier de demande d'approbation initial.

6.3.2 L'accord de prise en charge

Lorsqu'une famille de colis a obtenu son approbation, le producteur peut demander la prise en charge de tout ou partie de cette famille. Une partie de la famille est dénommée lot de colis.

Pour cela, le producteur constitue un dossier de demande d'accord de prise en charge pour un lot de colis.

Le processus de prise en charge commence à la réception de ce dossier. Comme pour l'approbation, l'Andra émet un avis sur la recevabilité du dossier.

Lorsque la recevabilité est prononcée, l'Andra analyse les caractéristiques des colis et les contrôles associés ainsi que les dispositions organisationnelles et de maîtrise de la qualité mises en œuvre pour sa fabrication et son entreposage. Pour se prononcer sur l'accord de prise en charge, l'Andra intègre à son analyse les résultats de sa surveillance pour les colis objet de la demande.

L'accord de prise en charge peut être suspendu par l'Andra dans le cas où le processus de surveillance producteur et/ou celui de l'Andra, la prise en charge, la livraison ou l'acceptation mettent en évidence des écarts aux conditions d'une approbation.

L'accord de prise en charge peut également être révisé en cas de modifications des spécifications d'acceptation des colis de l'INB Cigéo.

6.3.3 L'accord de livraison

Lorsqu'un lot de colis a obtenu un accord de prise en charge, sa livraison peut être organisée.

En premier lieu, le type de convoi, le type et le nombre d'emballages de transport ainsi que les identifiants et le nombre de colis de déchets correspondant au lot de colis sont définis en accord avec le producteur.

Sur cette base, la planification de la livraison du lot de colis est organisée. Il en découle un numéro de livraison associé à un convoi et une date de livraison sur l'INB.

De manière concomitante, le producteur déclare dans le système informatique dédié les caractéristiques des colis à livrer afin que l'Andra puisse procéder au contrôle de déclaration informatique.

La planification de la livraison et la vérification informatique validées, un accord de livraison est délivré par l'Andra. Il autorise l'expédition des colis identifiés vers l'INB Cigéo à la date prévue.

Pour l'Andra, cet accord de livraison permet de planifier les tâches de configuration de l'installation, l'approvisionnement des conteneurs de stockage et autres consommables nécessaires au conditionnement des colis livrés, les tâches de déchargement du ou des emballages de transport jusqu'à la mise en alvéole des colis de stockage et l'affectation des ressources.

6.3.4 L'acceptation

L'acceptation est l'acte par lequel l'Andra matérialise son accord pour le stockage dans l'INB d'un colis de déchets radioactifs donné.

Elle est délivrée lorsque toutes les étapes du processus d'acceptation précitées sont validées.

6.4 Le processus de gestion des écarts aux conditions d'une approbation

Au cours du processus d'acceptation, les différentes actions de vérification/contrôle peuvent conduire à la détection d'écarts aux conditions d'une approbation.

Ces écarts peuvent être constatés sur le site du producteur, lors des contrôles et de la surveillance menés sur l'INB.

En cas de détection d'un écart sur un colis de déchets, l'approbation ou l'acceptation du colis peut être suspendue selon la procédure en vigueur.

Dans tous les cas, une analyse est réalisée par l'Andra afin de définir si l'écart entraine une modification notable ou non. Elle permet d'adapter le traitement de l'écart et sa gestion à la nature de l'écart et à son importance pour la protection des intérêts.

Cette analyse consiste notamment à :

- déterminer les causes techniques, organisationnelles et humaines ;
- identifier la population concernée (colis, lot ou famille de colis) ;
- définir les actions curatives, préventives et correctives appropriées ;
- mettre en œuvre les actions ainsi définies ;
- évaluer l'efficacité des actions mises en œuvre.

La suspension de l'approbation ou de l'acceptation ne peut être levée par l'Andra que s'il est démontré que l'écart ne remet en cause ni la démonstration de sûreté, ni le domaine autorisé par l'ASN. Le ou les colis concernés feront l'objet d'une gestion spécifique, en application de la décision n° 2017-DC-0616 de l'ASN relative aux modifications notables des INB (17), à savoir :

- une « approbation ou acceptation particulière » lorsque la caractéristique qui sort des critères spécifiés est indiquée comme éligible à une étude particulière dans les spécifications d'acceptation ;
- une « approbation ou acceptation en dérogation » lorsque la caractéristique qui sort des critères spécifiés, fait l'objet d'une analyse pour vérifier le respect du domaine autorisé de l'INB Cigéo ;
- une « approbation ou acceptation hors domaine » lorsque la caractéristique sort des critères spécifiés et du domaine autorisé de l'installation. Dans ce cas exceptionnel, la demande fera l'objet d'une demande d'accord auprès de l'ASN. L'accord de l'Andra ne peut intervenir sans cet accord.

ANNEXES

Annexe 1 Tableau des catégories physico-chimiques des familles de colis MA-VL

Identifiant Famille élémentaire	Intitulé Famille élémentaire	Catégorie
CEA-070	Conteneurs en béton de 500 litres contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique produits sous spécification d'assurance qualité	MA-VL1
CEA-100	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des fûts de 700 litres de concentrats à 800 g/L enrobés dans un liant hydraulique	MA-VL1
CEA-140	Conteneurs en béton de 500 litres produits avant 1994 et contenant des fûts de boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique	MA-VL1
CEA-150	Conteneurs en béton de 500 litres contenant des fûts de concentrats d'évaporation enrobés dans un liant hydraulique	MA-VL1
CEA-231	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs béton de 5 m³	MA-VL1
CEA-232	Fûts de sulfates de plomb radifères provenant de l'usine du Bouchet conditionnés en conteneurs EIP	MA-VL1
CEA-280	Fûts 223 litres en acier non allié contenant des boues de filtration enrobées dans un liant hydraulique (y compris fûts produits sous spécification d'assurance qualité)	MA-VL1
CEA-310	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1 000 litres contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume ou un mélange boues-ciment	MA-VL1
CEA-320	Fûts en acier contenant des boues ou concentrats ou un mélange de boues-concentrats cimentés	MA-VL1
CEA-1140	Fûts en acier inoxydable contenant des boues de filtration cimentées issues de l'installation STEMA	MA-VL1
COG-430	Boues STE2 séchées, compactées et immobilisées dans un conteneur métallique	MA-VL1
COG-560	Déchets issus des colonnes d'élution d'ELAN IIB conditionnés en colis Phomix	MA-VL1
CEA-1000	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier inoxydable d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (à partir d'octobre 1996)	MA-VL2
CEA-1010	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits sous spécification d'assurance qualité (de 1995 à 1996)	MA-VL2
CEA-1020	Fûts en acier inoxydable contenant des fûts en acier non allié d'enrobés bitumineux produits avant 1995	MA-VL2
COG-020	Fûts bitumes STE3 produits suivant la spécification 300 AQ 027	MA-VL2
COG-420	Fûts enrobés bitumineux STE2 (reprise partielle silo 550-14)	MA-VL2
AND-000	Déchets collectés par l'Andra conditionnés en conteneur 870 L	MA-VL3

Identifiant Famille élémentaire	Intitulé Famille élémentaire	Catégorie
CEA-050	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits sous spécification d'assurance qualité (à partir du 01/01/94) contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL3
CEA-060	Conteneurs en acier de 500 litres produits depuis 1994 sous spécification d'assurance qualité et contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL3
CEA-080	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits de 1972 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	MA-VL3
CEA-090	Conteneurs 870 litres en acier non allié produits de 1990 à fin 1993 contenant des déchets divers (alpha Pu prépondérant) bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL3
CEA-110	Conteneurs 500 litres en acier non allié produits de 1970 à 1990 contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	MA-VL3
CEA-120	Conteneurs 500 litres en acier non allié produits de 1990 à 1994 contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL3
CEA-270	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique (CEA/DAM Valduc)	MA-VL3
CEA-290	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1800 litres contenant des déchets divers bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL3
CEA-300	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs en béton 1 800 litres contenant des déchets divers bloqués dans une matrice ciment-bitume	MA-VL3
CEA-330	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets métalliques et organiques « Pégase »	MA-VL3
CEA-370	Objets exotiques de Phénix	MA-VL3
CEA-400	Déchets irradiants issus du DEM de Rapsodie, de l'assainissement des fosses de Cadarache et de l'exploitation et du DEM du RJH	MA-VL3
CEA-410	Déchets irradiants issus de l'exploitation et du DEM de diverses installations de Saclay	MA-VL3
CEA-420	Déchets issus de l'exploitation et du DEM de diverses installations de Fontenay-aux-Roses	MA-VL3
CEA-440	Conteneurs 500 litres en acier inoxydable contenant des déchets divers non compactables bloqués dans un liant hydraulique (exploitation CABRI, DEM Rapsodie, fosses CAD, CENG)	MA-VL3
CEA-450	Conteneurs en acier non allié issus du reconditionnement de conteneurs bétons dits « Blocs sources »	MA-VL3
CEA-460	Déchets de déconstruction des installations du centre CEA de Valduc	MA-VL3
CEA-480	Colis 223 litres pré-bétonnés hors normes	MA-VL3
CEA-1040	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de procédé cimentés	MA-VL3

Identifiant Famille élémentaire	Intitulé Famille élémentaire	Catégorie
CEA-1090	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL3
CEA-1100	Conteneurs 870 litres en acier non allié contenant des déchets technologiques métalliques et organiques bloqués dans un liant hydraulique (déchets alpha Marcoule)	MA-VL3
CEA-1110	Déchets technologiques issus de 'AVM	MA-VL3
CEA-1151	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de DEM des chaînes TOP et TOR, à reconditionner en fûts EIP	MA-VL3
CEA-1152	Déchets de structure, divers déchets métalliques et déchets de DEM des chaînes TOP et TOR	MA-VL3
CEA-1180	Fûts alpha 200 litres entreposés au bâtiment 99 de la zone nord CDS à placer provisoirement dans une coque réversible de 500 litres	MA-VL3
CEA-1510	Sources radioactives (alpha, neutroniques et divers)	MA-VL3
COG-030	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits après 1994 suivant la spécification 300 AQ 044	MA-VL3
COG-040	Fûts de coques et embouts cimentés produits suivant la spécification 300 AQ 025	MA-VL3
COG-050	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits avant 1994 suivant la spécification 300 AQ 038	MA-VL3
COG-070	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C contenant des coques et embouts du silo HAO	MA-VL3
COG-440	Fût ECE cimenté de fines et résines du silo HAO	MA-VL3
COG-460	Conteneurs Standards de Déchets Compactés/CSD-C contenant des déchets technologiques métalliques et organiques et des déchets de DEM	MA-VL3
COG-480	Colis CBF-C'2 contenant des déchets d'exploitation et de DEM (poubelles fosse ATTILA)	MA-VL3
COG-490	Déchets issus des opérations de CDE DEM des usines UP2-400, UP2-800 et UP3 compactés en CSD-C	MA-VL3
COG-500	Déchets issus des opérations de CDE DEM des usines UP2-400, UP2-800 et UP3 conditionnés en CBF-C'2	MA-VL3
COG-510	Déchets issus des opérations de CDE DEM de l'usine MELOX conditionnés en CBF-C'2	MA-VL3
COG-520	Déchets issus des opérations de CDE DEM des installations CFCa Cadarache conditionnés en CBF- C'2	MA-VL3
EDF-120	Déchets AMI Chinon	MA-VL3
CEA-1050	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure métalliques cimentés (y compris le DEM des Célestins)	MA-VL4
CEA-1060	Fûts en acier inoxydable contenant des déchets de structure magnésiens bloqués dans un liant hydraulique	MA-VL4

Identifiant Famille élémentaire	Intitulé Famille élémentaire	Catégorie
EDF-080	C1PG^{SP} de DAE REP	MA-VL4
EDF-090	C1PG^{SP} de DAD 1^{e} train hors déchets sodés Superphénix	MA-VL4
EDF-100	C1PG^{SP} de DAD des REP du parc actuel (dont BCOT)	MA-VL4
ITER-010	Déchets divers conditionnés en fûts produits pendant les phases d'exploitation, de maintenance et de déconstruction du réacteur ITER	MA-VL4
ITER-020	Conteneurs cubiques de déchets divers produits pendant les phases d'exploitation, de maintenance et de déconstruction du réacteur ITER	MA-VL4
CEA-360	Déchets issus du DEM des objets du cœur de Phénix	MA-VL5
CEA-430	Déchets divers issus des phases d'exploitation, d'assainissement et de DEM de diverses installations du Centre de Grenoble	MA-VL5
CEA-1200	Déchets divers entreposés dans les bâtiments 211 et 213 (hors conteneurs de déchets vitrifiés PIVER et autres verres HA)	MA-VL5
COG-100	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C produits suivant la spécification 300 AQ 055 (dont coques et embouts des fûts ECE et des piscines S1, S2 et S3)	MA-VL5
COG-110	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C contenant des coques et embouts issus d'assemblages combustibles UOX	MA-VL5
COG-120	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C contenant des coques et embouts issus d'assemblages combustibles UOX/URE/MOX	MA-VL5
COG-450	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C contenant des déchets de structure issus d'assemblages combustibles REP et RNR Superphénix et Phénix)	MA-VL5
COG-530	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C contenant des déchets issus du traitement des CU du CEA/Civil	MA-VL5
COG-540	Conteneurs standards de déchets compactés/CSD-C contenant des déchets de structure issus du traitement des CU du CEA/DAM	MA-VL5
COG-550	Colis de déchets de structure compactés issus du traitement des CU EL4	MA-VL5
EDF-110	Crayons sources primaires et secondaires REP et autres sources scellées diverses	MA-VL5
CEA-340	Conteneur standard de déchets (CSD) contenant des effluents américiés vitrifiés (verre MA-VL Valduc)	MA-VL6
CEA-1120	Conteneurs type AVM en acier inoxydable contenant des déchets vitrifiés issus des effluents de rinçage UP1 Marcoule (verres MA-VL)	MA-VL6
COG-400	Déchets contaminés alpha en provenance de CAD, Mélox et LHA conditionnés dans un colis PIVIC par incinération/vitrification	MA-VL6
COG-470	Colis CSD-B contenant des effluents de moyenne activité vitrifiés (MAD UP2-400, UP2-800 et UP3)	MA-VL6
COG-475	Colis CSD-RB contenant des reliquats d'effluents de moyenne activité vitrifiés (MAD UP2-400, UP2-800 et UP3)	MA-VL6

Identifiant Famille élémentaire	Intitulé Famille élémentaire	Catégorie
CEA-380	Déchets divers contenant du B4C issus des phases d'exploitation et de DEM des réacteurs RNR Rapsodie et Phénix	MA-VL7
EDF-250	Déchets divers contenant du B4C issus des phases d'exploitation et de DEM du réacteur RNR SuperPhénix	MA-VL7

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1-1	Conteneur standard de déchets vitrifiés (CSD-V)	15
Figure 1-2	Répartition du nombre de colis HA par état de production	16
Figure 1-3	Conteneur en béton-fibres cylindrique	24
Figure 1-4	Répartition du nombre de colis MA-VL par état de production	25
Figure 2-1	Types de colis de stockage HA – en pointillé rouge sont identifiés les colis envisagés pour la mise en service de la Phipil	39
Figure 2-2	Illustration du conteneur de stockage dédié aux colis de déchets vitrifiés provenant des ateliers R7/T7 de l'usine de La Hague (familles COG-140, COG-200, etc.)	43
Figure 2-3	Exemple de marquage par gravure sur un patin en céramique	44
Figure 2-4	Essais de chute et tests de vérification d'étanchéité à l'hélium associés	45
Figure 2-5	Traitement de détensionnement thermique (photo 1) et tests de vérification de la qualité des soudures sur conteneurs HA (photos 2 et 3)	46
Figure 2-6	Types de colis de stockage MA-VL	49
Figure 2-7	Conteneur de stockage MA-VL de type CS 4.1 à couvercle vissé	55
Figure 2-8	Pieds des conteneurs lors du coulage et sur un prototype échelle 1	56
Figure 2-9	Illustration des résultats de tenue à la chute d'un conteneur CS 4 après une chute sur coin de 2,3 mètres (résultats de simulations numériques et résultats d'essai sur prototypes échelle 1)	57
Figure 2-10	Conteneur de type CS 4 instrumenté, fermé et clavé, pour essai feu ISO 834 - 1/A1 de 2012 (13), illustration de l'état d'un prototype échelle 1 avant et après essai	58
Figure 2-11	Caractérisation de l'étalement de la formule de référence (cf. « Dossier de justification de la conception du conteneur de stockage des colis MA-VL » (14))	59
Figure 2-12	Illustration des étapes de fabrication de prototypes CS 3, CS 2 et CS 4	60
Figure 3-1	Évolution de l'activité radiologique de l'inventaire des déchets HA sur un million d'années après la fermeture	66
Figure 3-2	Évolution de l'activité des colis HA pour différentes catégories de radionucléides (VC : vie courte ; VL : vie longue)	66
Figure 3-3	Évolution de l'activité radiologique des déchets MA-VL après la fermeture définitive	67
Figure 3-4	Évolution de l'activité des colis MA VL pour différentes catégories de radionucléides (VC : vie courte ; VL : vie longue)	68
Figure 5-1	Schéma présentant l'articulation de l'élaboration des spécifications préliminaires d'acceptation des colis de déchets de l'INB Cigéo avec la sûreté et la conception	95
Figure 5-2	Schéma de principe d'architecture des spécifications d'acceptation	96

Tableaux

Tableau 1-1	Inventaire en colis de déchets HA	13
Tableau 1-2	Inventaire en colis de déchets MA-VL	19
Tableau 2-1	Tableau des fonctions du colis de stockage HA et répartition entre le colis primaire et le conteneur de stockage	40

Tableau 2-2	Tableau des fonctions du colis de stockage MA-VL et répartition entre le colis primaire et le conteneur de stockage (par extension le colis de stockage, une fois fermé)	51
Tableau 3-1	Facteurs de marge appliqués aux activités en fonction du niveau de connaissance	64
Tableau 3-2	Répartition à date des facteurs de marge appliqués aux inventaires radiologiques au prorata du nombre de colis primaires de déchets	65
Tableau 3-3	Activités des déchets HA à la date de fermeture pour quelques radionucléides d'intérêt particulier pour les évaluations après fermeture	67
Tableau 3-4	Activités des déchets MA-VL au moment de la fermeture définitive pour quelques radionucléides d'intérêt particulier pour les évaluations après fermeture	68
Tableau 3-5	Masses des substances toxiques chimiques déclarées au titre du déchet.	69
Tableau 4-1	Familles de colis à considérer pour le dimensionnement des protections radiologiques à l'égard de l'exposition externe	74
Tableau 4-2	Évaluation des grandeurs caractéristiques relatives à une mobilisation de la contamination surfacique labile en fonctionnement normal	76
Tableau 4-3	Coefficients de remise en suspension en cas de chute des colis primaires	78
Tableau 4-4	Évaluation des grandeurs caractéristiques relatives à une mobilisation de la contamination surfacique labile en situation de choc, chute et collision	79
Tableau 4-5	Évaluation des grandeurs caractéristiques relatives à une mobilisation de la contamination surfacique labile et du contenu radioactif interne solide du colis en cas de chute excédant sa hauteur de qualification	80
Tableau 4-6	Familles particulières présentant un nombre réduit de colis non qualifiés à la chute	82
Tableau 4-7	Facteurs de rétention des aérosols vis-à-vis des matrices et des conteneurs en cas d'incendie	83
Tableau 4-8	Évaluation des grandeurs caractéristiques relatives à une mobilisation de la contamination surfacique labile en cas d'incendie	84
Tableau 4-9	Masse fissile maximale mesurée ou estimée par colis primaire MA-VL selon le type de colis de stockage	85
Tableau 4-10	Masse fissile maximale mesurée ou estimée par colis primaire HA selon le type de colis de stockage	86
Tableau 4-11	Grandeurs caractéristiques relatives à la puissance thermique par type de colis de stockage et familles de colis associées (valeur à réception)	87
Tableau 4-12	Débit d'hydrogène en L/an par colis de stockage pour les familles retenues en référence pour les études de dimensionnement	89
Tableau 4-13	Familles particulières présentant un nombre réduit de colis avec un débit d'hydrogène élevé	90
Tableau 5-1	Thématiques objet des spécifications d'acceptation et critères associés	97

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 Inventaire national des matières et déchets radioactifs - Les essentiels 2018. Ancra (2018). Document N°PUBLI/20-0826. Disponible à l'adresse : https://inventaire.andra.fr/sites/default/files/documents/pdf/fr/andra-les_essentiels-2018.pdf.

2 Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base. Version consolidée au 21 octobre 2019 (2019).

3 Arrêté du 13 juin 2017 portant homologation de la décision n° 2017-DC-0587 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 mars 2017 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage. Ministère de la Transition écologique et Solidaire (2017). Journal officiel de la République française, N°146.

4 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 19 - Version préliminaire des spécifications d'acceptation des colis. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-SPE-AMOA-SR0-0000-19-0040.

5 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Démarche d'élaboration des inventaires de l'INB Cigéo. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SR2-0000-20-0014.

6 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Inventaire de référence retenu pour la conception et la démonstration de sûreté de l'INB Cigéo au stade des études d'avant-projet. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-CS0-0000-20-0002.

7 Dossier d'options de sûreté - Partie après fermeture (DOS-AF). Andra (2016). Document N°CGTEDNTEAMOASR20000150062. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-04/dossier-options-surete-apres-fermeture_0.pdf.

8 Dossier d'options de sûreté - Partie exploitation (DOS-Expl). Andra (2016). Document N°CGTEDNTEAMOASR10000150060. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-04/dossier-options-surete-exploitation.pdf.

9 Avis n°2018-AV-0300 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 janvier 2018 relatif au dossier d'options de sûreté présenté par l'Andra pour le projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2018). N°2018-AV-0300. 7 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/155337/1525188?version=3.

10 Décision n°2017-DC-0587 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 mars 2017 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2017).

11 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la conception des conteneurs de stockage des colis HA. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-CS0-0000-19-0002.

12 Eurocode 2 - Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments. AFNOR (2005), NF EN 1992-1-1.

13 Amendement 1 à la norme ISO 834-1 de septembre 1999. Essai de résistance au feu - Éléments de construction - Partie 1 : exigences générales. ISO (2012), ISO 834-1/A1.

14 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la conception du conteneur de stockage des colis MA-VL. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-CS0-0000-19-0003.

15 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Note scénarios, hypothèses et résultats des calculs de conséquences. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SR0-0000-20-0012.

16 Accord relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR). Organisation des Nations Unies (ONU) (01//2021). Vol. 1, N°ECE/TRANS/300 (Vol.1).

17 Décision n°2017-DC-0616 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 30 novembre 2017 relative aux modifications notables des installations nucléaires de base. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2017).

© Andra • Décembre 2022 • Création graphique : Agence Les Récréateurs • Crédit photo : Andra



ANDRA

AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
Tél. : 01 46 11 80 00

www.andra.fr