



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Avril 2025

PROJET GLOBAL CIGÉO
DOSSIER DE CHIFFRAGE



PIÈCE 2

Présentation des configurations
techniques chiffrées



Sommaire

1.	L'objet du document	5
2.	La présentation du centre de stockage Cigéo	7
2.1	<i>La description synthétique du centre de stockage Cigéo</i>	8
2.2	<i>La progressivité du déploiement du centre de stockage Cigéo</i>	10
2.3	<i>Les configurations techniques chiffrées</i>	13
3.	Les colis de déchets	15
3.1	<i>Les colis primaires de déchets HA et MA-VL</i>	16
3.2	<i>Les colis de stockage HA</i>	17
3.3	<i>Les colis de stockage MA-VL</i>	18
3.3.1	Les colis primaires MA-VL éligibles au stockage direct	19
3.3.2	Les colis primaires MA-VL mis dans un conteneur de stockage	22
3.3.3	Les colis factices et cales	24
3.3.4	Le cas spécifique des colis de déchets bitumés	25
3.4	<i>La chronique de livraison considérée pour le chiffrage</i>	29
4.	Les ouvrages du centre de stockage Cigéo	33
4.1	<i>Les ouvrages de surface</i>	34
4.1.1	Les ouvrages en zone descendrière	34
4.1.2	Les ouvrages en zone puits	49
4.1.3	Les autres optimisations des ouvrages conventionnels de surface	57
4.1.4	Les utilités externes et aménagements hors site	60
4.2	<i>Les ouvrages souterrains de l'INB Cigéo</i>	61
4.2.1	Les ouvrages communs au fond	63
4.2.2	Le quartier de stockage des colis MA-VL	66
4.2.3	Le quartier pilote HA	77
4.2.4	Le quartier de stockage des colis HA	78
4.2.5	Les démonstrateurs et les ouvrages témoins	82
4.2.6	La stratégie de démantèlement et de fermeture	84
4.2.7	Les ouvrages de fermeture	86
	Annexes	89
	<i>Annexe 1 Le portefeuille des optimisations et leur répartition selon les configurations 1, 2 et 3</i>	90
	<i>Annexe 2 Le périmètre impacté par les optimisations</i>	96
	Tables des illustrations	105
	Références bibliographiques	109

1

L'objet du document



Cette note a pour objet de présenter de manière synthétique les principales caractéristiques des différentes configurations techniques du projet de centre de stockage Cigéo considérées pour le dossier de chiffrage. Elle contient successivement :

- une présentation synthétique du centre de stockage et de son déploiement progressif, telle qu'indiquée dans le dossier en support à la demande d'autorisation de création (DAC) de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo (1), en cours d'instruction ;
- une présentation du principe des différentes configurations techniques chiffrées, à savoir la configuration technique portée à la DAC et trois configurations techniques intégrant successivement des optimisations technico-économiques suivant leur degré de maturité décroissant et/ou leur niveau de difficulté de démonstration croissant à date du dossier de chiffrage. Ces optimisations portent sur les colis de stockage et sur le centre de stockage (ouvrages de surface et installation souterraine).

Puis pour chaque configuration technique chiffrée, sont présentées les caractéristiques concernées :

- des colis de stockage de déchets ;
- du centre de stockage (ouvrages de surface, installation souterraine).

L'estimation des coûts des différentes configurations est présentée dans chaque pièce du dossier de chiffrage (2-15).

2

La présentation du centre de stockage Cigéo

2.1	La description synthétique du centre de stockage Cigéo	8
2.2	La progressivité du déploiement du centre de stockage Cigéo	10
2.3	Les configurations techniques chiffrées	13



2.1 La description synthétique du centre de stockage Cigéo

Le centre de stockage Cigéo serait situé dans la région Grand Est, à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne (cf. Figure 2-1).

Les installations du centre de stockage Cigéo seraient implantées sur les communes de Bonnet, Bure, Cirfontaines-en-Ornois, Gillaumé, Gondrecourt-le-Château, Houdelaincourt, Horville-en-Ornois, Mandres-en-Barrois, Ribeaucourt, Saint-Joire et Saudron.

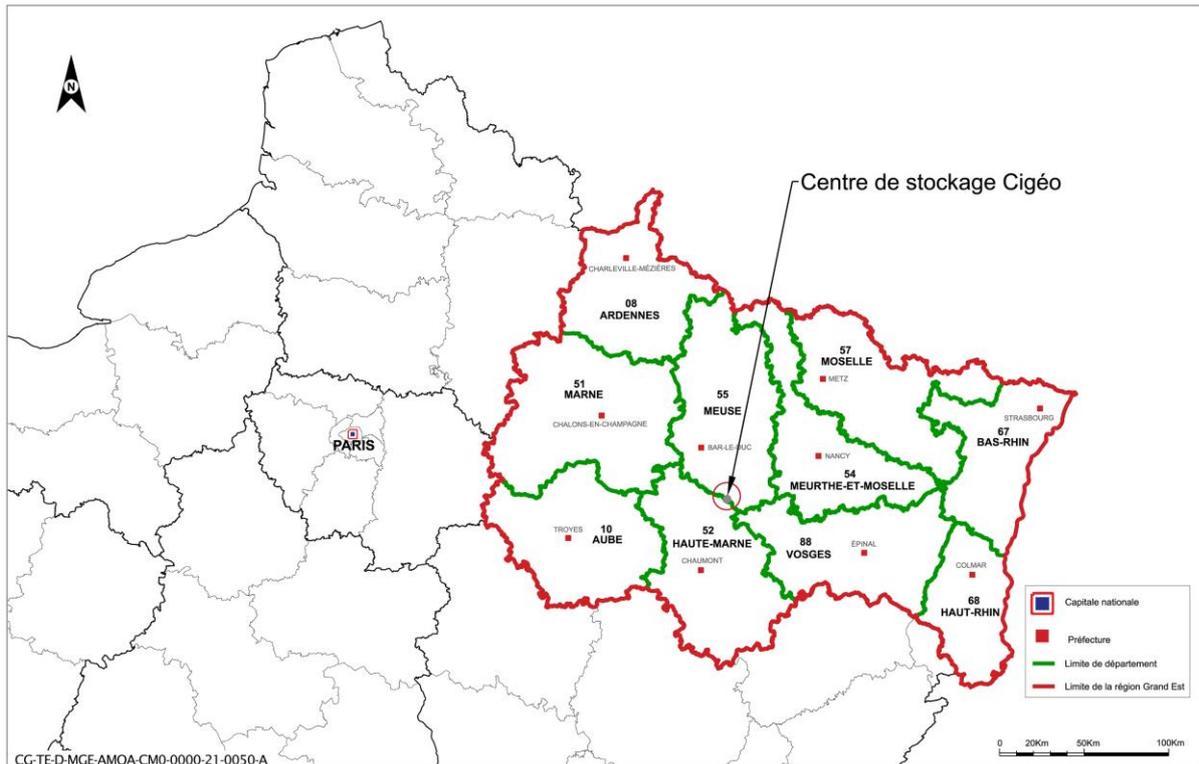


Figure 2-1 Localisation dans l'est de la France du centre de stockage Cigéo

Le centre de stockage Cigéo (cf. Figure 2-2) comprend des installations en surface et en souterrain :

- en surface :
 - ✓ une installation terminale embranchée (ITE), voie ferrée reliant la zone descendière au réseau ferré national (RFN) à Gondrecourt-le-Château et incluant une plateforme logistique dans cette commune ;
 - ✓ une zone descendière (ZD), principalement dédiée à la réception des colis de déchets radioactifs envoyés par les producteurs, à leur contrôle et à leur préparation pour le stockage avant transfert dans l'installation souterraine pour leur stockage ;
 - ✓ une zone puits (ZP), dédiée aux installations de soutien aux activités réalisées dans l'installation souterraine en exploitation et aux travaux de creusement des ouvrages ;
 - ✓ une liaison intersites (LIS) en surface, reliant la zone puits à la zone descendière, comprenant un convoyeur, une voie dédiée à la circulation des poids lourds et une voie pour la circulation des véhicules légers.

- en souterrain, une zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS), comprenant :
 - ✓ les accès entre la surface et le fond ;
 - ✓ les zones de soutien logistique (ZSL) ;
 - ✓ les quartiers de stockage des colis de déchets radioactifs.

La partie souterraine exploitée pour le stockage (zone nucléaire) est séparée physiquement et fonctionnellement de la partie souterraine dédiée aux travaux.

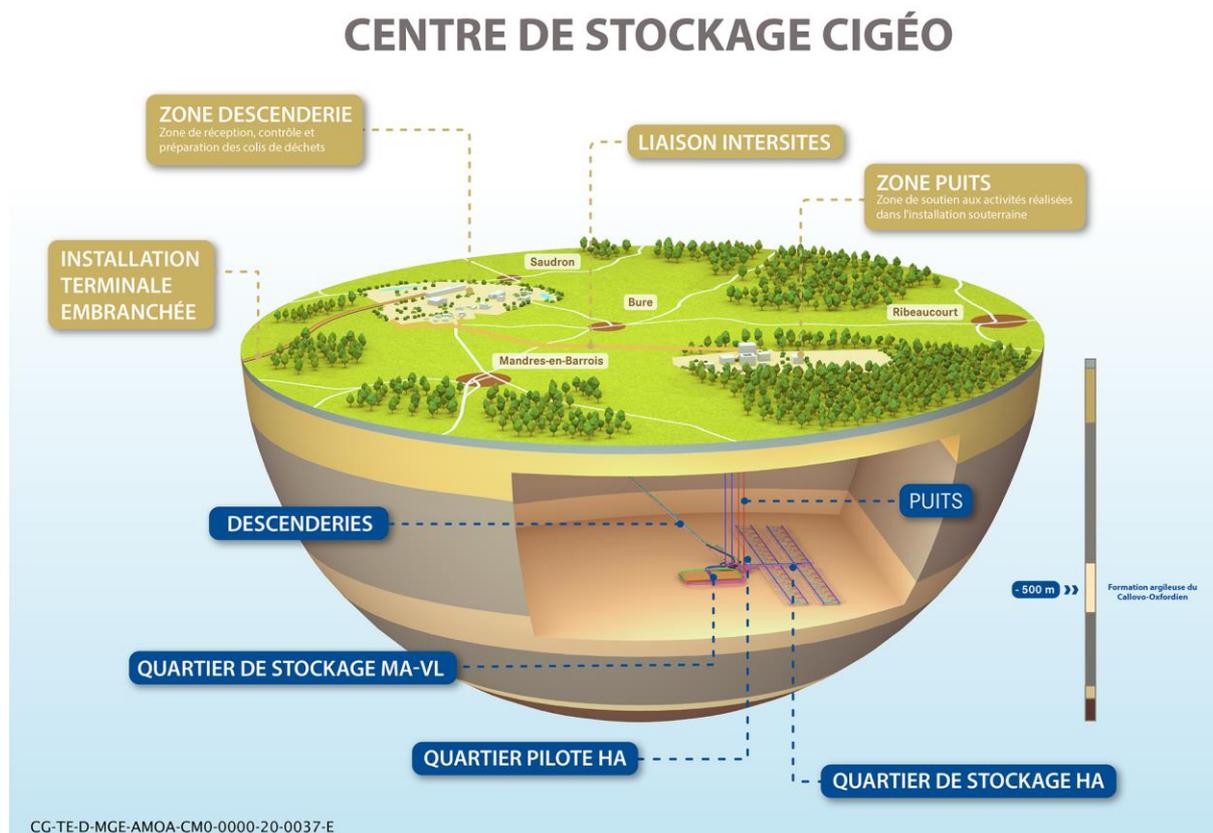


Figure 2-2 *Illustration de l'organisation générale des installations du centre de stockage Cigéo*

Le périmètre de l'installation nucléaire de base (INB) est présenté sur la figure ci-après.

La description des différentes installations du centre de stockage Cigéo est présentée au chapitre 4 du présent document.

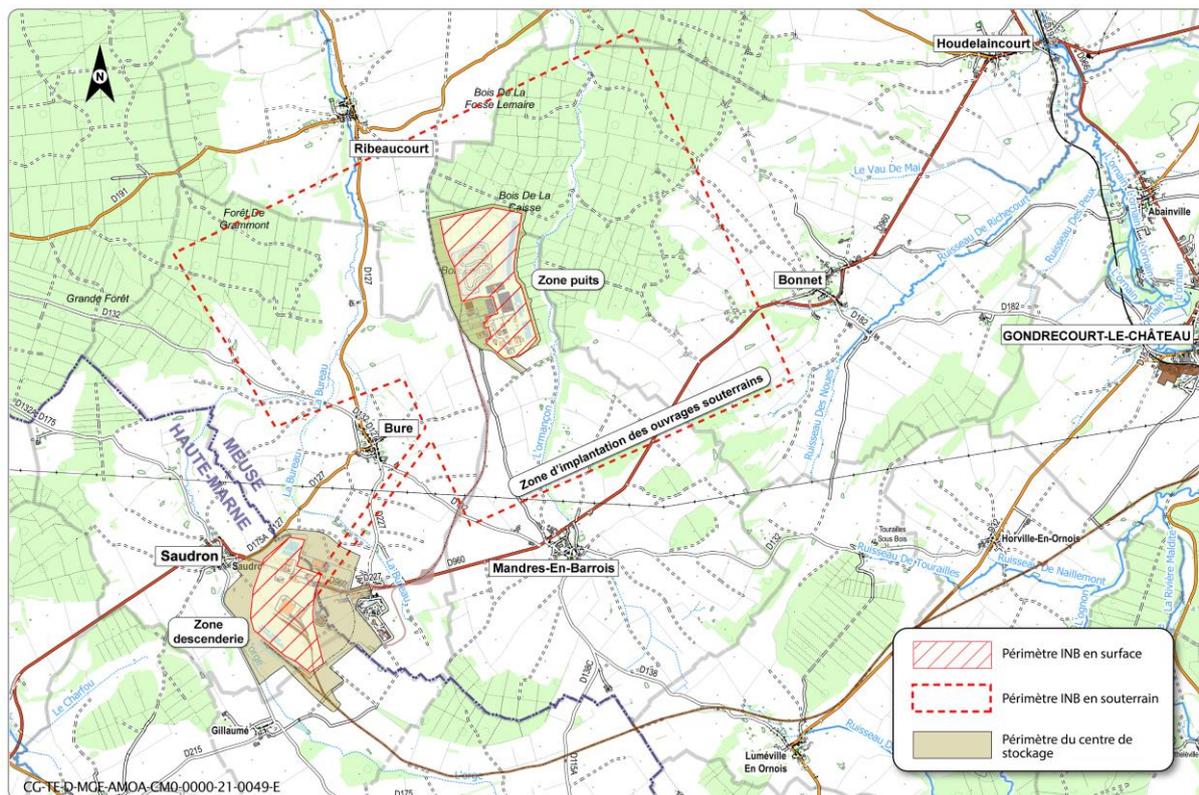


Figure 2-3 Localisation du périmètre INB en surface et en souterrain

2.2 La progressivité du déploiement du centre de stockage Cigéo

La conception, la construction et l'exploitation du centre de stockage Cigéo permettent de garantir son caractère réversible, c'est-à-dire « la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion » (article L. 542-10-1 du code de l'environnement).

Après une phase de construction initiale (tranche 1 de construction), des opérations de réception et de mise en stockage de colis de déchets radioactifs sont menées pendant une durée d'ordre séculaire sur le centre de stockage Cigéo. En parallèle, des travaux de construction des ouvrages de stockage sont réalisés par tranches¹ successives (les tranches ultérieures (TU) englobent la phase de fonctionnement incluant les travaux d'extension de l'installation souterraine et la phase de démantèlement et de fermeture). Ce déploiement progressif permet d'intégrer d'éventuelles évolutions dans les programmes de livraison des colis, et de bénéficier des progrès scientifiques et technologiques en regard de la durée de fonctionnement d'ordre séculaire du centre de stockage Cigéo, ainsi que de l'expérience acquise lors du fonctionnement du centre lui-même entre les tranches.

¹ Une « tranche » d'ouvrage est un ensemble de bâtiments de surface et/ou d'ouvrages souterrains, construits dans une même séquence de contrats de travaux en engageant une tranche d'investissement, c'est-à-dire une partie du coût global de possession.

La construction progressive du centre de stockage Cigéo correspond à un enchaînement prudent d'opérations de construction et de mises en service successives de parties de l'INB (bâtiments nucléaires de surface, ouvrages souterrains) sur toute la durée de son fonctionnement. Les tranches successives de construction mèneront progressivement à la construction complète de l'installation, en particulier de l'installation souterraine. La programmation des opérations pourra néanmoins être revue pour modifier la construction et la mise en service des tranches successives. Les évolutions seront tracées dans les versions successives du plan directeur d'exploitation (PDE) (cf. « Pièce 16 – Plan directeur de l'exploitation » (16)) du dossier de demande d'autorisation de création (DAC).

La **phase industrielle pilote (Phipil)**² concrétise la démarche progressive et prudente de construction et de mise en service de l'installation souterraine. Du point de vue technique, elle répond au triple objectif (i) de conforter *in situ*, dans les conditions réelles d'environnement, de construction et de fonctionnement industriel de l'installation nucléaire de base (INB), des données utilisées pour sa conception et pour sa démonstration de sûreté ; (ii) de prendre en main progressivement l'exploitation ; et (iii) de procéder à des essais de récupérabilité de colis de déchets.

La progressivité de la construction et des mises en service successives permet à l'Andra en tant qu'exploitant de l'INB :

- d'intégrer des évolutions de modes de stockage de certains colis de déchets : stockage direct en lieu et place du stockage en conteneur sous réserve de respecter les spécifications d'acceptation des colis pour ce mode de stockage ou *vice versa* ;
- de consolider les stratégies de gestion de déchets comme, en particulier, pour les colis de déchets bitumés, pour lesquels deux voies de gestion sont à ce stade considérées sans privilégier l'une par rapport à l'autre (stockage de colis de déchets bitumés en l'état, ou stockage de déchets issus du traitement des colis de déchets bitumés).

Associé à l'adaptabilité de la conception de l'INB, le principe d'un développement progressif offre également la possibilité aux générations successives qui construiront et exploiteront l'installation, d'adapter les ouvrages à d'éventuelles évolutions d'inventaire de déchets (par exemple, construction ou non de sous-quartiers de stockage de combustibles usés).

De plus, la progressivité de la construction favorise l'intégration aux futures tranches de construction, de toutes les améliorations de connaissances qui seront notamment rendues possibles par les progrès scientifiques et techniques, pour optimiser le stockage au sens large, comme pour toute installation nucléaire de base et *a fortiori* pour le centre de stockage Cigéo dont le développement progressif est d'ordre séculaire.

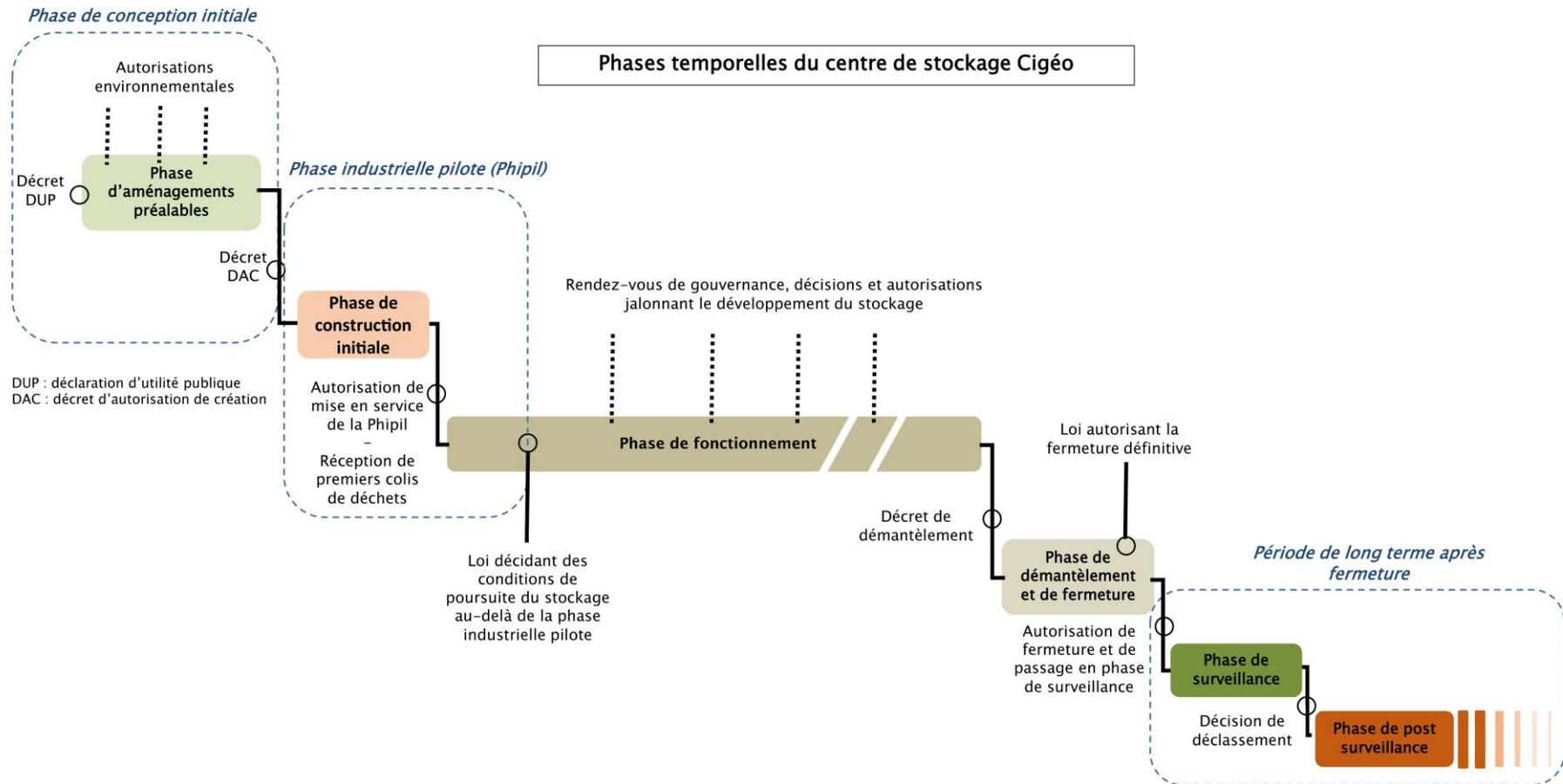
Ainsi, dès lors qu'une meilleure solution technique aura été développée et aura atteint un degré de maturité technologique suffisant, elle pourra, sous réserve de son autorisation, être intégrée aux ouvrages à construire.

À ce titre, la construction et l'exploitation du quartier pilote HA (comportant un nombre limité d'alvéoles) dès la phase industrielle pilote (Phipil), vise à permettre de disposer d'un retour d'expérience précieux pour la définition technique, la construction et l'exploitation du quartier de stockage HA qui stockera l'essentiel des déchets HA et sera mis en œuvre dans une temporalité plus lointaine (à l'horizon 2080).

Dans ce cadre, l'optimisation technico-économique de la conception du centre de stockage Cigéo et l'amélioration continue des dispositions retenues pour garantir la sûreté s'appuieront sur, *a minima*, une veille scientifique et technologique voire la mise en œuvre en propre par l'Andra d'études et recherches en matière de développement du stockage. Des évolutions de conception pourraient également provenir de prescriptions formulées par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) à l'occasion des réexamens périodiques de sûreté. La surveillance et l'exploitation du centre de stockage amèneront aussi naturellement des éléments de connaissance additionnels sur le comportement du stockage en grand et des composants, utiles pour l'optimisation de sa conception et de son exploitation et son amélioration continue. Le développement progressif favorise le maintien du plus haut de niveau de sûreté tout en maîtrisant les coûts du stockage.

Pour rappel, les grandes phases temporelles du déploiement général prévisionnel du centre de stockage Cigéo sont présentées en figure 2-4 ci-après.

² Depuis 2016, la phase industrielle pilote (Phipil) est introduite dans le code de l'environnement (article L. 542-10-1).



CG-TE-D-MGE-AMOA-CM0-0000-20-0014-B

Figure 2-4 Schéma prévisionnel des phases temporelles du déploiement général de l'INB Cigéo

2.3 Les configurations techniques chiffrées

Le coût global de possession (CGP) du centre de stockage Cigéo intègre la totalité de ses coûts constitutifs sur l'ensemble de sa durée de vie (conception, construction, fonctionnement, maintien en conditions opérationnelles, démantèlement, fermeture y compris les assurances et les impôts et taxes pendant ces phases, ainsi que les dépenses de recherche et développement (R&D) associées au développement du projet. À ce CGP s'ajoutent une estimation des coûts incertains et le coût de la surveillance après fermeture. La nature des coûts est précisée dans la « Pièce 3 - Éléments méthodologiques communs au chiffrage » (17) du présent dossier.

Sur la base des études techniques d'avant-projet, l'Andra a développé la conception de l'INB Cigéo dans une configuration technique détaillée support à la demande d'autorisation de création déposée le 16 janvier 2023 (18) et à partir de laquelle ont été estimés les coûts.

Cette configuration, dite « configuration DAC », et son chiffrage sont en outre déclinés en deux variantes relatives à la voie de gestion pour le stockage des déchets bitumés. En effet, faisant suite à l'avis de l'ASN portant sur le stockage des déchets bitumés à l'issue de l'instruction du dossier d'options de sûreté déposé en 2016, l'Andra a présenté dans le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) deux voies de gestion pour le stockage des déchets bitumés, sans préjuger d'une voie préférentiellement à une autre :

- un stockage de colis de déchets issus d'un traitement visant la neutralisation des déchets bitumés ;
- un stockage en l'état de colis de déchets bitumés (sans traitement préalable) mis dans des conteneurs en béton renforcés, vis-à-vis de l'incendie, avant leur transfert et leur mise en stockage dans des alvéoles dédiés.

Dans la suite de ce document, et dans les différentes notes du présent dossier de chiffrage, les conséquences de la voie de gestion pour le stockage des déchets bitumés sur l'installation et sur l'estimation de coût sont précisées pour les ouvrages qui sont impactés par cette voie.

Comme indiqué au chapitre 2.2 du présent document, la configuration portée à l'instruction DAC ne préjuge pas d'évolutions futures de conception et d'optimisations qui pourront être intégrées au cours du développement progressif du projet Cigéo (16, 19). Plus particulièrement, tout au long de la conception jusqu'au dépôt de la demande d'autorisation de création (DAC), l'Andra a déjà mené une démarche d'optimisation technico-économique du centre de stockage Cigéo, qui pour partie a été intégrée dans les études d'avant-projet détaillé et *in fine* dans la configuration support à la DAC déposée le 16 janvier 2023, et qui, pour partie pourra l'être après le dépôt de cette dernière.

L'ensemble de cette démarche a conduit à l'établissement d'une liste d'optimisations technico-économiques post-dépôt de la DAC de janvier 2023 qui a fait l'objet d'une analyse préliminaire de la valeur³ et d'une pré-instruction technique et financière ayant permis de retenir les plus pertinentes sur différents critères indiqués au paragraphe suivant. Ces optimisations s'entendent à date dans le cadre du dossier de chiffrage ; elles devront faire l'objet d'études complémentaires et d'un processus de décision quant à leur intégration dans la configuration qui sera *in fine* construite en 1^{re} tranche ou dans les tranches ultérieures.

³ L'analyse de la valeur évalue la relation entre les coûts et la réalisation d'un produit ou d'un service. Elle permet de réduire les coûts d'un produit, service, d'une organisation sans réduire la qualité ou les performances, et de concevoir une solution parfaitement adaptée aux besoins au coût le plus faible.

Les optimisations retenues ont été regroupées en trois configurations techniques, notées de 1 à 3, sur la base d'une analyse de critères de sélection des optimisations en termes de maturité de développement, pertinence technique, impact sur les enjeux de sûreté, intérêt économique, impact sur le développement progressif du projet Cigéo, complexité de la démonstration à date du dossier de chiffrage. Par ailleurs, pour chacune de ces configurations techniques, la compatibilité des optimisations entre elles a été vérifiée.

En ce qui concerne plus spécifiquement les conséquences sur la protection des intérêts, la catégorisation des configurations a intégré une première analyse de l'impact sur la sûreté. Comme indiqué plus haut, la mise en œuvre éventuelle des modifications de configuration concernées prendra alors en compte les exigences réglementaires en matière de gestion des modifications et conduira notamment à identifier au préalable l'ensemble des incidences sur la protection des intérêts.

Le portefeuille complet des optimisations retenues et la synthèse de leur prise en compte dans chacune des trois configurations techniques chiffrées sont présentés en annexe 1 du présent document, de manière factuelle, ainsi que dans les chapitres 3 et 4 du présent document.

Les configurations 1, 2 et 3 ont été estimés à partir du chiffrage de la configuration DAC, par exemple en adaptant les quantités ou les prix unitaires selon la nature des optimisations considérées.

Les configurations techniques retenues pour le chiffrage

Le dossier de chiffrage présente le coût global de possession (CGP) correspondant à différentes configurations :

- la **configuration DAC**, support à la demande d'autorisation de création (DAC) déposée en janvier 2023 et qui sert de base détaillée à l'évaluation des coûts ;
- trois configurations optimisées de maturité décroissante⁴ qui intègrent des évolutions de conception envisagées à date du chiffrage :
 - ✓ une **configuration 1** qui intègre les optimisations post-dépôt du dossier de DAC jugées **les plus matures** ;
 - ✓ une **configuration 2** incluant les optimisations post-dépôt du dossier de DAC **moins matures mais dont la faisabilité est jugée atteignable** à ce stade du projet, combinées aux optimisations compatibles de la configuration 1 ;
 - ✓ une **configuration 3** incluant l'ensemble des optimisations post-dépôt du dossier de DAC jugées **non matures et dont la faisabilité reste à démontrer (possiblement difficile à atteindre)**, et combinées aux optimisations compatibles de la configuration 2.

On peut noter que la configuration 2 représente une configuration jugée atteignable à terme dans le cadre du planning prévisionnel du projet, et la configuration 3 une configuration plus volontaire, dont l'atteinte est ainsi plus difficile, notamment en termes de démonstration, sans être néanmoins impossible, en l'état des connaissances à date du chiffrage.

⁴ La notion de maturité inclut à la fois la maturité technique en termes de démonstration de la faisabilité technique et la garantie de la démonstration de l'atteinte des objectifs de sûreté, au sens large (cf. Protection des intérêts au sens large).

3

Les colis de déchets

3.1	Les colis primaires de déchets HA et MA-VL	16
3.2	Les colis de stockage HA	17
3.3	Les colis de stockage MA-VL	18
3.4	La chronique de livraison considérée pour le chiffrage	29



Pour la mise en stockage des colis de déchets, on distingue les notions suivantes :

- le **colis primaires (CP)** : colis de déchets issu des installations de conditionnement des déchets des producteurs ;
- le **conteneur de stockage (CtS)** : conteneur dans lequel sont placés un ou plusieurs colis primaires en préalable à la mise en stockage. Les conteneurs de stockage du centre de stockage Cigéo correspondent à des « surconteneurs » au sens de la décision ASN relative au conditionnement des déchets (décision n° 2017-DC-0587 de l’Autorité de sûreté nucléaire du 23 mars 2017 (20)) ;
- le **colis de stockage (CS)** : colis de déchets radioactifs pouvant être placé en l’état dans l’installation de stockage. Un complément de colisage est susceptible de compléter les colis primaires en provenance des producteurs de déchets. Les colis de stockage correspondent donc (i) à un conteneur de stockage renfermant un ou plusieurs colis primaires, (ii) à un panier regroupant plusieurs colis primaires ou (iii) aux colis primaires directement (cf. Chapitre 3.3.1 du présent document).

Les colis de stockage répondent à une appellation définie et retenue dans les études d’avant-projet. Elle est reprise dans la 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 à un modèle de conteneur lors des études de conception.

Les optimisations présentées pour les colis de déchets portent sur l’éligibilité au stockage direct du colis primaire et sur la conception du colis de stockage (le conteneur de stockage et/ou panier de stockage).

3.1 Les colis primaires de déchets HA et MA-VL

Les inventaires de référence et de réserve⁵ des colis primaires retenus pour les études en phase de conception initiale menées en vue du dépôt de la demande d’autorisation de création de l’INB Cigéo découlent des inventaires prospectifs évalués dans l’édition 2018 de l’Inventaire national des matières et déchets radioactifs (IN) (22), sur la base de scénarios prospectifs de la politique énergétique française à long terme. Ces inventaires prennent également en compte les colis de déchets historiques déjà produits ainsi que les déchets devant être repris dans le cadre d’opérations de reprise et conditionnement des déchets (RCD).

Les colis de déchets retenus pour le chiffrage sont ceux de l’inventaire de référence établi dans la note « Inventaire de référence retenu pour la conception et la démonstration de sûreté de l’INB Cigéo au stade des études d’avant-projet » (23).

Les déchets HA sont principalement des déchets vitrifiés (99,4 % des colis de déchets HA).

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 familles de colis de déchets sont décrites dans le volume 3 de la « Pièce 7 - Version préliminaire du rapport de sûreté » (18) du dossier de demande d’autorisation de création.

⁵ Pour tenir compte des évolutions possibles entre l’inventaire qui a été pris en compte dans les études de conception et celui des déchets qui seront réellement à stocker dans l’INB Cigéo, le code de l’environnement a introduit la notion d’inventaire de réserve (21). Cet inventaire de réserve vise ainsi à permettre de prendre en compte d’éventuelles évolutions de stratégie des industriels ou de politique énergétique ainsi que les incertitudes liées notamment à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets.

3.2 Les colis de stockage HA

Les conteneurs de stockage HA sont conçus pour recevoir les colis primaires de déchets de haute activité et garantir leur protection pendant les opérations de transfert, de mise en stockage en alvéole HA, et de retrait.

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 sont établis en fonction des familles⁶ de colis de déchets, en particulier en fonction de la géométrie des colis primaires. Plusieurs modèles de conteneurs ont un diamètre de corps identique et leur longueur s'adapte à la longueur des typologies de colis HA. Les numéros de CS vont de 10 à 15 pour les colis stockés en conteneurs de stockage HA.

Les conteneurs de stockage HA peuvent également accueillir des colis primaires MA-VL vitrifiés placés dans les espaces intercalaires entre colis HA dans certains alvéoles.

Le conteneur de stockage décrit dans le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (24) est constitué d'éléments en acier non allié (corps, couvercle et fond) et en céramique (patins).

Deux optimisations de conception sont envisagées sur les conteneurs de stockage des colis HA et sont prises en compte dans le chiffrage de certaines configurations (cf. Tableau 3-1). Elles concernent le matériau des patins en céramique et l'épaisseur des viroles des conteneurs.

Tableau 3-1 *Liste des optimisations impactant les conteneurs de stockage HA selon la configuration chiffrée*

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-093	Remplacement des patins en alumine à 99,7 % des colis HA par de l'alumine à 95 %		X	X
O-069	Optimisation de l'épaisseur du conteneur de stockage HA (à exigence de débit de dose inchangée (10 Gy/h)) et du process de fabrication		X	X

⁶ 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.

► CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX CONTENEURS HA

Dans le cadre du chiffrage, les hypothèses suivantes sont considérées selon les configurations :

- **configuration DAC et configuration 1**
 - ✓ les patins des conteneurs de stockage sont fabriqués en alumine à 99,7 % ;
 - ✓ l'ensemble des modèles de conteneurs sont constitués d'une virole de section circulaire en acier forgé non allié de même épaisseur.
- **configurations 2 et 3**
 - ✓ les patins des conteneurs de stockage sont fabriqués en alumine à 95 %, le changement de composition du patin permettant la réduction de son prix unitaire tout en conservant ses propriétés et respectant les exigences afférentes (optimisation O-093) ;
 - ✓ les épaisseurs des conteneurs peuvent être optimisées en fonction des chroniques de chargement des colis au sein des différents quartiers de stockage HA, tout en respectant le critère de débit équivalent de dose (DeD) en surface du conteneur de 10 Gy/h. Cela conduirait à quatre gammes d'épaisseurs des viroles des conteneurs. Les coûts de fabrication sont également optimisés à travers des optimisations des process de forgeage et de soudure permises par le volume important de conteneurs à produire chaque année pendant plusieurs dizaines d'années (optimisation O-069). Il est à noter que la déstandardisation des diamètres de conteneurs conduit à des ajustements au niveau du process dans le bâtiment EP2 (cf. Chapitre 4.1.1.2.4 du présent document).

3.3 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 primaires directement en alvéole de stockage. Il 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 limiter ainsi les flux de transfert.
- le stockage des colis primaires de déchets MA-VL après mise en conteneur de stockage en béton ou en acier dans l'installation nucléaire de surface. Trois sous-configurations pour le conteneur de stockage en béton sont possibles :
 - ✓ le stockage en conteneur béton standard, avec couvercle vissé ;
 - ✓ le stockage en conteneur béton renforcé vis-à-vis de l'incendie, pour les colis de déchets bitumés stockés en l'état ;
 - ✓ le stockage en conteneur béton renforcé vis-à-vis du confinement, c'est-à-dire avec un couvercle vissé et clavé.

3.3.1 Les colis primaires MA-VL éligibles au stockage direct

Dans la demande d'autorisation de création (DAC) déposée en janvier 2023 (18), les colis primaires éligibles pour tout ou partie au mode de stockage direct sont les familles conditionnées en C1PG^{SP}, CBF-C'2, 500 L FI, CSD-C et 870 L, ainsi que celles de colis primaires de type CS2 ou CS2 de demi-hauteur pour les familles dont le conditionnement est à définir.

En termes de manutention, on distingue :

- les déchets conditionnés directement par les producteurs dans des conteneurs primaires de type CS 2 ou CS 2 de demi-hauteur, avec une interface de manutention standard par fourches ;
- les colis de type C1PG^{SP}, CBF-C'2, et 870 L qui nécessitent une interface de manutention réutilisable pour leur transfert jusque dans la cellule de manutention ;
- les colis primaires de type 500 L FI ou CSD-C, stockés en paniers : l'utilisation de paniers peut s'avérer nécessaire pour permettre la manutention de plusieurs colis primaires dans un même panier et donc limiter les flux de transfert de colis de l'installation nucléaire de surface jusqu'à leur emplacement définitif dans la partie utile de l'alvéole MA-VL. Le stockage en panier contribue également pour certains colis primaires à garantir la stabilité mécanique de leur empilement dans la partie utile de l'alvéole. Deux types de paniers sont dédiés au stockage direct de colis primaires, dont les caractéristiques sont indiquées dans le tableau 3-3.

Les colis de stockage associés aux colis primaires stockés directement avec ou sans panier, prennent les numéros allant de 21 à 27.

Plusieurs optimisations sont envisagées pour le stockage direct de colis primaires et sont prises en compte dans le chiffrage des configurations 1, 2 et 3 (cf. Tableau 3-2) :

- deux optimisations de conception des paniers de stockage direct (O-166 variantes a et b) consistant à alléger les parois latérales (pour les colis CSD-C) et le couvercle (pour les colis CSD-C et 500 L FI) ;
- huit optimisations consistant à élargir le nombre de colis éligibles au stockage direct, impliquant une modification du nombre de paniers considérés dans le chiffrage (optimisations O-004, O-006c/e et O-209a/b/c), les optimisations O-006a et O-007 étant relatives à un stockage direct des colis sans panier ;
- une optimisation consistant à supprimer les paniers CS 26 (O-207) par l'intermédiaire d'une modification des moyens de manutention.

Tableau 3-2 Liste des optimisations concernant le stockage direct de déchets MA-VL et les paniers de stockage MA-VL selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Mode de stockage				
O-004	Stockage direct de 100 % des colis CSD-C (hors catégorie physico-chimique MA-VL 3), au lieu de 86 %	X	X	X
O-006e	Stockage direct de 70 % des colis 500 L MI : empilement des colis sur 2 nappes avec panier au-dessus des CS 2	X		
O-006c	Stockage direct des colis 500 L MI : empilement des colis sur 2 nappes avec panier au-dessus des CS 2		X	
O-006a	Stockage direct des colis 500 L MI : empilement des colis sur 2 nappes sans panier au-dessus des CS 2			X
O-007	Stockage direct de 83 % des colis 870 L, au lieu de 50 % ⁷	X	X	X
O-209a	Identification de nouvelles familles de colis éligibles au stockage direct : colis DIADEM MA-VL 5		X	X
O-209b	Identification de nouvelles familles de colis éligibles au stockage direct : colis DIADEM MA-VL 3			X
O-209c	Identification de nouvelles familles de colis éligibles au stockage direct : colis CEA-231, CEA-232 et CEA-1140			X
O-207	Suppression des paniers CS 26 et gerbage des colis 500 L FI les uns sur les autres			X
Conception des paniers de stockage MA-VL				
O-166b	Optimisation de la conception et du coût des paniers de stockage direct CS 22 <i>via</i> l'allègement des parois latérales et des couvercles (CSD-C)			X
O-166a	Optimisation de la conception et du coût des paniers de stockage direct CS 26 <i>via</i> l'allègement du couvercle (500 L FI)	X	X	X

⁷ Le stockage direct de 83 % des colis 870 L constitue à date un optimum économique grâce à la suppression d'un alvéole MA-VL. En effet le stockage direct de 100 % des colis ne permet pas de supprimer cet alvéole à cause des contraintes liées à l'exigence de co-stockabilité des familles de colis dans un même alvéole.

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AU STOCKAGE DIRECT DES COLIS MA-VL

Le tableau 3-3 détaille le nombre de paniers de stockage considérés pour le chiffrage de la configuration DAC et les configurations 1, 2 et 3, ainsi que leurs caractéristiques principales.

Pour les colis **CSD-C**, l'optimisation O-004 consiste à augmenter le ratio de stockage direct de ces colis (pour lesquels les conteneurs de stockage en béton sont remplacés par des paniers). Le nombre de paniers CS 22 est donc augmenté dans le cas des configurations 1, 2 et 3. De plus, dans le cas de la configuration 3, le panier de stockage est optimisé en allégeant le couvercle et les parois latérales tout respectant les exigences afférentes (tenue à la chute, tenue à l'incendie – celui-ci pouvant être mitigé par d'autres moyens).

Pour les colis **500 L MI**, l'optimisation O-006 consiste en leur stockage direct, suivant trois alternatives :

- dans le cas de la configuration 1, les conteneurs CS 2.3 de 70 % des colis 500 L MI sont remplacés par des paniers de stockage (nouveau type de panier « CS 28 ») ;
- dans le cas de la configuration 2, l'ensemble des conteneurs CS 2.3 des colis sont remplacés par des paniers de stockage (nouveau type de panier « CS 28 ») ;
- dans le cas de la configuration 3, les colis 500 L MI sont stockés directement sans panier avec l'ajout d'une interface de manutention réutilisable (plateau) pour leur transfert jusque dans la cellule de manutention.

Le stockage des colis **500 L FI** fait l'objet de deux optimisations :

- l'optimisation O-166a consiste à alléger le couvercle des paniers CS 26 dans les configurations 1, 2 et 3 ;
- l'optimisation O-207 consiste à passer d'un stockage direct avec panier à un stockage direct sans panier. Ainsi, dans le cas de la configuration 3, les colis 500 L FI (de catégorie physico-chimique MA-VL 1) sont stockés directement sans panier dans l'alvéole 6 permettant la suppression de la plupart des paniers CS 26. Seuls les paniers des colis (de catégorie physico-chimique MA-VL 3) stockés dans l'alvéole 12 sont conservés pour faciliter le co-stockage avec les autres colis de l'alvéole. Le panier permettait de limiter les flux de transfert de colis dans l'installation en manutentionnant quatre colis à la fois. Cette configuration fait l'hypothèse que l'impact sur les flux de transfert sera limité grâce au déploiement d'une solution de transport par plateau réutilisable pouvant accueillir quatre colis.

Pour les colis **Diadem**, l'optimisation O-209a/b consiste à envisager un stockage direct en panier :

- dans le cas de la configuration 2, seuls les colis non salins de catégorie physicochimique MA-VL 5 sont stockés en panier : les conteneurs CS 2.X sont remplacés par un nouveau type de panier « CS 29 » de même gabarit que le CS 26 pour faciliter le co-stockage géométrique ;
- dans le cas de la configuration 3, les conteneurs CS 2.X de l'ensemble des colis Diadem (catégories physico-chimiques MA-VL 5 et MA-VL 3) sont remplacés par le nouveau type de panier « CS 29 ».

Tableau 3-3 Caractéristiques des paniers de stockage MA-VL et quantitatifs associés à chaque configuration chiffrée

Type de panier	Type de colis primaire	Nombre de paniers en fonction de la configuration chiffrée			
		Configuration DAC	Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
CS 22	CSD-C	6 928	8 239	8 239	8 239
		Avec parois pleines et couvercle	Avec parois pleines et couvercle	Avec parois pleines et couvercle	Parois latérales et couvercle allégés
CS 26	500 L FI	1 356	1 356	1 356	46
		Avec couvercle	Couvercle allégé	Couvercle allégé	Couvercle allégé
CS 28	500 L MI	0	1 319	1 944	0
CS 29	DIADEM	0	0	196	329

3.3.2 Les colis primaires MA-VL mis dans un conteneur de stockage

Les colis de déchets MA-VL accueillis sur l'INB Cigéo représentent une diversité de typologies de conditionnement. Le choix de les regrouper dans un nombre limité de conteneurs de stockage permet de réduire le nombre de dispositifs pour mener les opérations de manutention des colis de stockage aussi simplement que possible. Cela permet également de standardiser les moyens d'automatisation du processus de mise en stockage.

Deux grandes typologies de conteneurs de stockage MA-VL sont retenues dans le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (25), associées à des modèles de conteneur de stockage selon les familles de colis qu'ils contiennent :

- des conteneurs de stockage préfabriqués en béton armé avec cinq modèles de colis de stockage : CS 1 à CS 5 ;
- des conteneurs de stockage en acier afin de satisfaire aux exigences de limitation de masse des colis de stockage avec deux modèles : CS 6 et CS 7.

En synthèse, sept types de conteneurs, composés de treize modèles au total sont retenus pour prendre en charge les familles de colis primaires destinés au stockage après mise en conteneurs.

Plusieurs optimisations sont envisagées sur les colis primaires mis en conteneur de stockage et sont prises en compte dans le chiffrage des configurations 1, 2 ou 3 :

- huit optimisations consistant à élargir le nombre de colis éligibles au stockage direct, impliquant une réduction du nombre de conteneurs de stockage considérés dans le chiffrage (voir optimisations du tableau 3-2 relatives au mode de stockage) ; ces optimisations ont également un impact sur le dimensionnement du quartier MA-VL (cf. Chapitre 4.2.2.2 du présent document) ;
- une optimisation spécifique au scénario de production des conteneurs permettant d'optimiser les coûts de production à travers la mutualisation des services et des infrastructures avec une usine préexistante restant à identifier (cf. Tableau 3-4).

Tableau 3-4 Liste des optimisations impactant les conteneurs de stockage MA-VL selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Conteneurs de stockage MA-VL				
O-206	Optimisation du scénario de production des conteneurs MA-VL			X

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX CONTENEURS DE STOCKAGE MA-VL

Le tableau 3-5 détaille le nombre de conteneurs de stockage des colis MA-VL qui varient selon les configurations. Le nombre de conteneurs MA-VL de chaque modèle considéré pour le chiffrage est fourni dans la « Pièce 12- Chiffrage des coûts d'exploitation » du présent dossier (11).

Le nombre de conteneurs CS 1, CS 2.2, CS 2.3, CS 2.X, CS 5.1, CS 5.X et CS 7 diminue dans le cas des configurations 1, 2 et 3 du fait de l'augmentation du ratio de stockage direct des colis CSD-C (optimisation O-004), 500 L MI (optimisation O-006a/c/e), 870 L (optimisation O-007), Diadem et fûts EIP (optimisation O-209a/b/c) pour lesquels les conteneurs de stockage en béton sont supprimés ou remplacés par des paniers.

Dans le cas de la configuration 3, le prix unitaire des conteneurs tient compte de l'hypothèse d'une production mutualisée des conteneurs avec une usine préexistante (optimisation O-206).

Tableau 3-5 Nombre de conteneurs de stockage des colis MA-VL en fonction de chaque configuration chiffrée

Type de conteneur	Nombre de conteneurs en fonction de la configuration chiffrée			
	Configuration DAC	Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
CS 1	536	536	536	0
CS 2.2	2 543	580	580	580
CS 2.3	1 944	625	0	0
CS 5.1	3 987	1 432	1 432	1 432
CS 7	23	23	23	4
CS 2.X	451	451	255	122
CS 5.X	2 529	2 489	2 489	2 489

3.3.3 Les colis factices et cales

Les alvéoles de stockage MA-VL sont standard et ont des diamètres et longueurs similaires quel que soit le type de colis voué à y être placé. Lorsque le nombre de colis de stockage pouvant être stockés dans un même alvéole ne permet pas de remplir une rangée complète de colis, des blocs de béton sont mis en place pour compléter la rangée et ainsi réduire les vides résiduels. Ces blocs de béton, nommés colis factices, ont les mêmes dimensions extérieures que les colis de stockage qu'ils remplacent.

Dans le cas du stockage dans un même alvéole MA-VL de colis de hauteurs différentes, des cales en béton de hauteur adaptée sont placées, si nécessaire, sous les colis en début de fonctionnement de l'alvéole, de manière à limiter la hauteur de vides résiduels au-dessus des colis tout en permettant la mise en place des colis en toute sûreté. Les cales ont les mêmes largeurs et longueurs que le colis de stockage qu'elles surélèvent.

» CONFIGURATION CHIFFRÉE RELATIVE AUX COLIS FACTICES ET CALES

Le nombre de colis factices et cales est le même quelle que soit la configuration considérée, sauf cas spécifique des alvéoles de stockage des colis de déchets bitumés. Le nombre de colis factices et cales de chaque type considéré pour le chiffrage est fourni dans la « Pièce 12 - Chiffrage des coûts d'exploitation » (11) du présent dossier.

3.3.4 Le cas spécifique des colis de déchets bitumés

Sur la base des différents avis et recommandations (revue internationale par des experts (26) et avis de 2019 à 2021 du PNGMDR 2016-2018 (27, 28)) parus depuis 2015 et plus particulièrement l'avis ASN de 2018 (29), l'Andra retient à ce stade deux voies de gestion pour le stockage des déchets bitumés sans préjuger d'une voie préférentiellement à une autre :

- un stockage en l'état de colis de déchets bitumés (*i.e.* Sans traitement préalable du déchet) mis dans des conteneurs de stockage en béton « renforcés » vis-à-vis de l'incendie, avant leur transfert et leur mise en stockage dans des alvéoles dédiés ;
- un stockage de colis de déchets issus d'un traitement visant la neutralisation des déchets bitumés.

Ainsi, l'Andra a intégré dans ses études de conception et de sûreté associées les deux voies de gestion des déchets bitumés, au titre de la flexibilité pour pouvoir accueillir les colis de déchets quelle(s) que soi(en)t la ou les voies retenues à terme en identifiant les dispositions conservatoires le cas échéant à mettre en place dès la construction initiale (18).

Le tableau ci-après synthétise les données et hypothèses retenues pour le chiffrage de chacune des deux voies en termes d'inventaire et de chronique.

Tableau 3-6 *Données retenues pour le chiffrage des deux voies de gestion pour le stockage des déchets bitumés*

	Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie	Stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés
Mode de stockage retenu	Mise en place des colis de déchets bitumés dans des conteneurs de stockage renforcés vis-à-vis de l'incendie (type CS 4) et stockage dans des alvéoles MA-VL dédiés uniquement à ces colis	Colis de déchets bitumés issus du traitement des déchets bitumés conditionnés en conteneurs de stockage en béton (type CS 2) et dans des alvéoles MA-VL « classiques »
Inventaire	42 271 colis primaires de type MA-VL 2 <ul style="list-style-type: none"> • 28 831 colis de Marcoule • 13 440 colis de La Hague 	25 832 colis primaires de type CSD-V (MA-VL 6)
Nombre total de hottes MA-VL (tous colis MA-VL)	19 hottes	16 hottes

Ces données permettent de couvrir l'ensemble des scénarios possibles, c'est-à-dire le traitement de la totalité ou d'une partie seulement des colis de déchets bitumés. En ce sens, l'installation nucléaire du centre de stockage Cigéo est dimensionnée afin de recevoir à la fois les colis de déchets bitumés en l'état et les colis provenant de leur neutralisation.

Dans le cas du stockage de colis de déchets bitumés en l'état, plusieurs niveaux de blocs de remplissage sont mis en place pour limiter la présence de vide interne à l'alvéole :

- en nappe 1 au niveau de la zone d'isolement (cf. Figure 3-1) pour limiter les hauteurs de chute lors du chargement de la 2^e nappe de l'alvéole ;
- au moment de la fermeture de l'alvéole, des blocs de remplissage supplémentaires sont placés sur les zones vides (cf. Figure 3-1) : c'est-à-dire la zone d'isolement (en deuxième nappe) et sur le troisième niveau de nappe laissée libre jusqu'à la décision de fermeture de façon à permettre un retrait rapide de n'importe quel colis de stockage avec un levage par le dessus :
- ✓ pour la zone d'isolement en tête d'alvéole : les blocs de remplissage ont des dimensions extérieures identiques à celles d'un CS 4 (neuf blocs en première nappe et 18 blocs en deuxième nappe par alvéole de stockage des déchets bitumés) ;
- ✓ pour la troisième nappe : les blocs de remplissage ont des dimensions extérieures similaires à celles d'un colis de stockage CS 4 (705 blocs en troisième nappe pour chacun des sept premiers alvéoles de stockage des déchets bitumés et 123 blocs pour le huitième alvéole partiellement rempli).

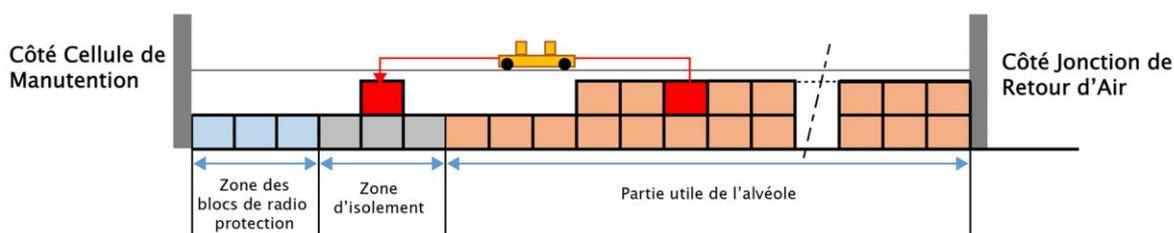


Figure 3-1 *Illustration de la partie utile d'un alvéole dédié au stockage de déchets bitumés en l'état mis en conteneurs de stockage renforcés vis-à-vis de l'incendie*

Des optimisations de conception sont envisagées en lien avec le stockage des colis de déchets bitumés et sont prises en compte dans le chiffrage des configurations 1, 2 et 3 (cf. Tableau 3-7) :

- **cas du stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés** : les colis sont vitrifiés, ils sont donc éligibles au stockage direct et peuvent être stockés dans des paniers de type CS 22 permettant d'optimiser les possibilités de co-stockage et le nombre d'alvéoles (optimisation O-191b) ;
- **cas du stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie** : le nombre (optimisations O-118 et O-251), le coût de fabrication (optimisation O-262) des blocs de remplissage et leur planning de mise en place (optimisation O-250) peuvent être optimisés.

Ces optimisations ont également un impact sur le dimensionnement du quartier MA-VL (cf. Chapitre 4.2.2.3 du présent document).

Tableau 3-7 Liste des optimisations impactant les conteneurs et les blocs de remplissage des alvéoles de stockage de déchets bitumés selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Cas du stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés				
O-191b	Stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés : stockage direct des colis et co-stockage permettant de supprimer deux alvéoles	X	X	X
Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie				
O-118	Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie : suppression du 8 ^e alvéole de déchets bitumés		X	
O-250	Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie : mise en place de la 3 ^e nappe de blocs de remplissage avant la fin d'exploitation du quartier MA-VL		X	
O-251	Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie : réduction du nombre d'alvéoles de déchets bitumés par levée du risque incendie, permettant de stocker sur trois nappes			X
O-262	Réalisation des blocs de remplissage des alvéoles de déchets bitumés avec des exigences au juste besoin	X	X	

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX COLIS DE DÉCHETS BITUMÉS

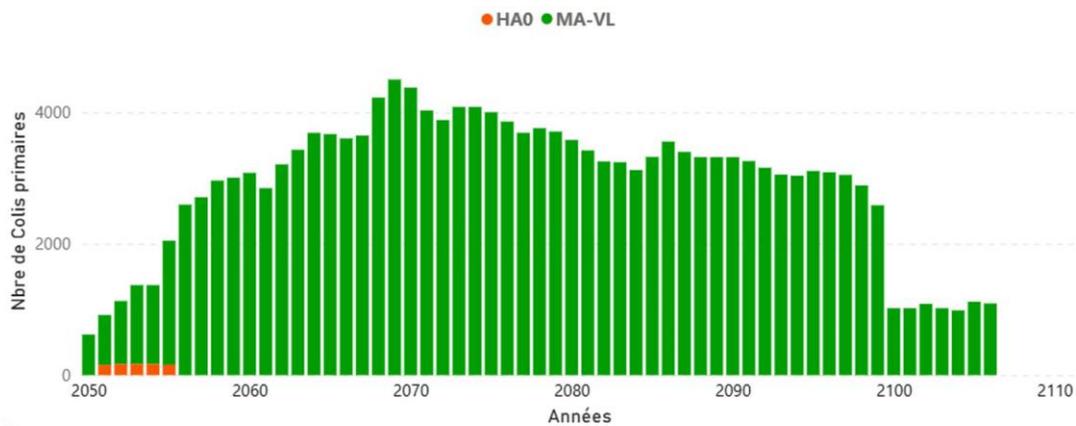
Dans le cadre du chiffrage, les hypothèses suivantes sont considérées selon les configurations et le cas de stockage des déchets bitumés :

- cas du stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés :
 - ✓ **configuration DAC** : les colis primaires issus du traitement des déchets bitumés sont vitrifiés et sont stockés dans 6 464 conteneurs CS 2.2 ;
 - ✓ **configurations 1, 2 et 3** : les colis primaires issus du traitement des déchets bitumés sont stockés dans 4 312 paniers CS 22 (optimisation O-191b).
- cas du stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie dans des alvéoles dédiés :
 - ✓ **pour l'ensemble des configurations**, les colis primaires de déchets bitumés sont stockés dans des conteneurs de stockage renforcés vis-à-vis de l'incendie : 7 227 CS 4.1 et 2 690 CS 4.2 ;
 - ✓ **configuration DAC** : les colis de stockage sont stockés sur deux nappes, au sein de huit alvéoles, avec la mise en place de 5 274 blocs de remplissage inertes, fabriqués dans la même usine de fabrication que les conteneurs de stockage et avec les mêmes qualités de béton et taux de ferrailage, et mis en place après la fin du stockage de l'ensemble des colis MA-VL en amont de la fermeture du quartier MA-VL ;
 - ✓ **configuration 1** : les colis de stockage sont stockés sur deux nappes, au sein de huit alvéoles, avec la mise en place de 5 274 blocs de remplissage inertes mis en place en amont de la fermeture, dont le coût est optimisé en ajustant les exigences sur la qualité du béton et le taux de ferrailage au juste besoin (optimisation O-262) ;
 - ✓ **configuration 2** : les colis de stockage sont stockés sur deux nappes, au sein de sept alvéoles, à l'exception de 2 % des colis (environ 860 colis réceptionnés en dernier, soit 216 CS) exceptionnellement stockés en troisième nappe dans les autres alvéoles de stockage des déchets bitumés sur la base du retour d'expérience des colis déjà stockés (optimisation O-118), avec la mise en place de 4 908 blocs de remplissage inertes, dont le coût est optimisé en ajustant les exigences sur la qualité du béton et le taux de ferrailage au juste besoin (optimisation O-262) et dont la mise en place est anticipée en parallèle de la réception des derniers colis MA-VL sur la base notamment du retour d'expérience sur le risque incendie lié à ces colis pendant l'exploitation (optimisation O-250) ;
 - ✓ **configuration 3** : Sur la base d'une hypothèse de levée du risque incendie portant sur les colis de déchets bitumés (qui serait fondée sur les résultats des études complémentaires de caractérisation des enrobés bitumés en termes de réactivité thermique, post-dossier d'options de sûreté, cf. Notamment (19)), les colis de stockage sont considérés pouvant être stockés sur trois nappes au sein de cinq alvéoles, permettant la suppression des blocs de remplissage (à l'exception de trois colis factices conservés dans le dernier alvéole de stockage des déchets bitumés pour le respect du taux de vide) (optimisation O-251). On notera que l'optimisation O-251 retenue en configuration 3 rend sans objet les trois optimisations retenues en configuration 2 (O-118, O-250 et O-262).

3.4 La chronique de livraison considérée pour le chiffrage

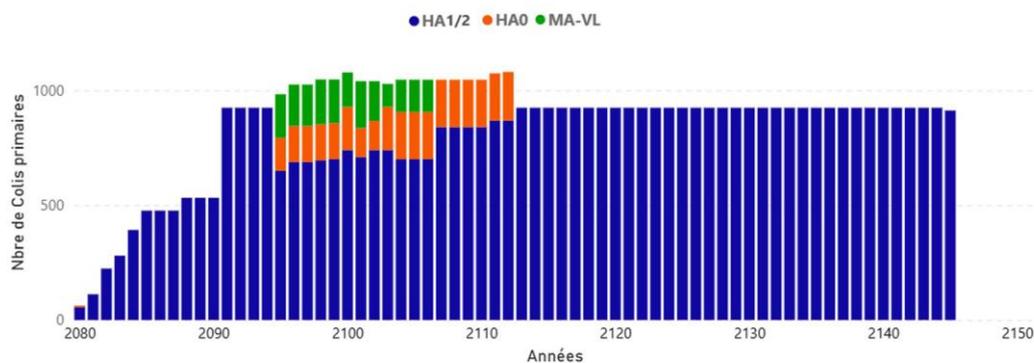
Pour les besoins du chiffrage, les producteurs ont établi, en lien avec l'Andra, une chronique prévisionnelle de livraison des colis de déchets, cohérente avec la chronique illustrative décrite dans la demande d'autorisation de création (DAC), en prenant en compte le retour de l'instruction du dossier d'options de sûreté (DOS) (30) en particulier sur le calendrier de stockage des colis de déchets bitumés et les implications sur celui des autres colis. Le dimensionnement de cette chronique tient compte des paramètres structurants des sites producteurs (contraintes de désentreposage et flux d'expédition notamment) et du développement des capacités de stockage de l'installation nucléaire du centre de stockage Cigéo.

La chronique prévisionnelle de livraison des colis de déchets HA et MA-VL prise en considération pour le chiffrage est illustrée sur la figure 3-2 et la figure 3-3. Ces chroniques seront mises à jour périodiquement au cours des différents jalons de déploiement de l'installation.



CG-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-25-0095-A

Figure 3-2 Chronique prévisionnelle de livraison des déchets MA-VL du quartier MA-VL et des déchets HA du quartier pilote considérée pour le chiffrage (cas du stockage de colis de déchets bitumés en l'état)



CG-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-25-0096-A

Figure 3-3 Chronique prévisionnelle de livraison des colis de déchets dans le quartier de stockage HA (colis HA1/HA2, et colis HA0 et MA-VL placés dans les espaces intercalaires) considérée pour le chiffrage

Pour le chiffrage, une hypothèse de mise en service industrielle du centre de stockage Cigéo en 2050 est considérée. La chronique prévisionnelle de livraison des colis primaires de déchets MA-VL tient compte :

- de la date prévisionnelle de disponibilité des colis pour le stockage ;
- des règles de co-stockage physico-chimique et géométrique ;
- des capacités maximales du bâtiment nucléaire de surface EP1 ;
- des paramètres structurants des sites producteurs (contraintes de désentreposage et flux d'expédition notamment).

Environ 800 colis HA0 seront stockés dans le quartier pilote HA pendant la phase industrielle pilote et gérés dans le bâtiment nucléaire de surface EP1.

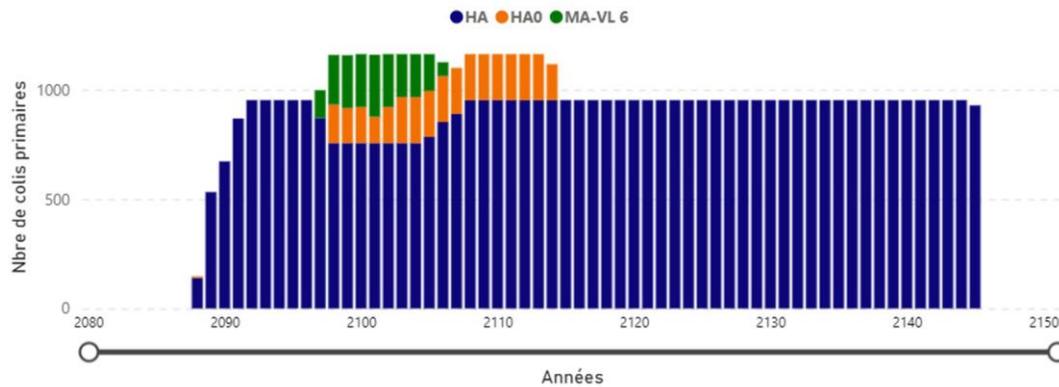
Pour le quartier de stockage HA, mis en service à l'horizon 2080, la chronique prévisionnelle de livraison des colis de déchets HA considère une montée en puissance progressive, puis un lissage des flux (régime permanent) sans dépasser les capacités maximales du bâtiment nucléaire de surface EP2. Des colis faiblement exothermiques dits « HA0 » et les verres MA-VL sont placés dans les espaces intercalaires entre colis HA dans le quartier de stockage HA.

Une optimisation de compactage de la chronique de réception des colis HA est envisagée et est prise en compte dans le chiffrage de la configuration 3 (cf. Tableau 3-8).

Tableau 3-8 Liste des optimisations impactant la chronique de livraison des colis primaires HA selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-234	Compactage de la chronique HA en retardant de 8 ans l'arrivée du premier colis HA			X

Elle consiste à reporter la date de début de réception des colis HA de 8 ans (en 2088) sans modifier la date de fin d'exploitation du centre de stockage Cigéo (cf. Figure 3-4). Cela conduit à réduire la période de réception simultanée de colis HA et de colis MA-VL et à une modification du dimensionnement thermo-hydro-mécanique (THM) du quartier de stockage HA (cf. Chapitre 4.2.4 du présent document).



CG-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-25-0097-A

Figure 3-4 Chronique prévisionnelle de livraison des colis de déchets dans le quartier de stockage HA (colis HA1/HA2, et colis HA0 et MA-VL placés dans les espaces intercalaires) considérée pour le chiffrage de la configuration 3

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES A LA CHRONIQUE DE LIVRAISON DES COLIS HA

Dans le cadre du chiffrage, les chroniques suivantes sont considérées :

- **configuration DAC et configurations 1 et 2** : les colis HA sont réceptionnés à partir de 2080 ;
- **configuration 3** : un compactage de la chronique HA de huit ans est envisagé en conservant la date de fin d'exploitation du centre de stockage Cigéo (réception des colis à partir de 2088) (optimisation O-234).

Les dates clés de l'installation sont précisées dans la « Pièce 20 - Échéancier des dépenses » (31) du présent dossier.

4

Les ouvrages du centre de stockage Cigéo

4.1	Les ouvrages de surface	34
4.2	Les ouvrages souterrains de l'INB Cigéo	61



L'installation nucléaire de base (INB) Cigéo est conçue pour accueillir les colis de déchets nucléaires HA et MA-VL de l'inventaire de référence (23). Elle est aussi conçue pour s'adapter à des potentielles évolutions de cet inventaire.

Le périmètre qui fait l'objet du dossier de chiffrage est constitué :

- de la configuration décrite dans le dossier support à la demande d'autorisation de création (DAC) (1), appelée par la suite configuration DAC ;
- des configurations 1, 2 et 3, sur la base d'un portefeuille d'optimisations (compatibles entre elles au sein d'une même configuration) listées en annexe 1 du présent document.

Les chapitres qui suivent détaillent les configurations chiffrées pour chaque ouvrage du centre de stockage Cigéo en précisant quelles optimisations impactent spécifiquement le périmètre. Une présentation synthétique de chaque ouvrage est donnée avant de présenter les optimisations.

4.1 Les ouvrages de surface

Les optimisations présentées pour les ouvrages de surface portent sur :

- le planning de construction ou de déconstruction ;
- la superficie de certains ouvrages de surface suite, par exemple, à des regroupements d'ouvrages ou à un réagencement de locaux ;
- la suppression de certains équipements et des redimensionnements pour tenir compte de données d'entrée plus favorables (géotechniques, hydrogéologiques...) ou des réajustements du besoin au niveau nécessaire et suffisant ;
- des sujets induits par des optimisations de l'installation souterraine (cf. Chapitre 4.2 du présent document).

Comme pour les colis de stockage, ces optimisations ont intégré une analyse du respect des exigences, et de manière générale des objectifs de sûreté.

4.1.1 Les ouvrages en zone descendrière

L'INB en zone descendrière (ZD) est dédiée à la réception, au contrôle et à la préparation des colis de déchets radioactifs avant leur transfert dans l'installation souterraine. Elle comprend également les installations de surface en soutien au fonctionnement.

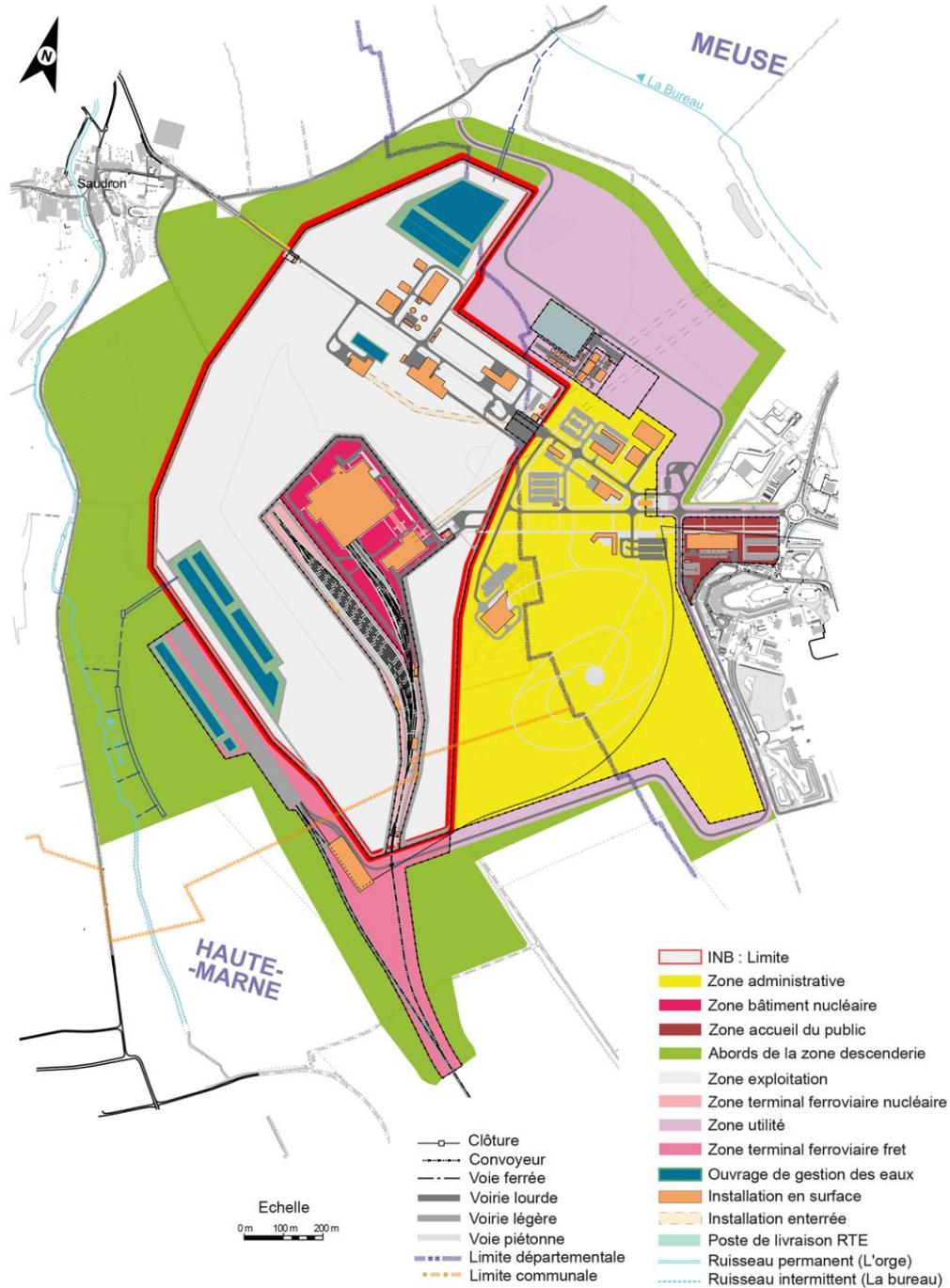
L'INB en zone descendrière comprend les zones suivantes (cf. Figure 4-1) :

- la zone « terminal ferroviaire nucléaire » dédiée à la réception des convois de colis de déchets radioactifs ;
- la zone « bâtiment nucléaire » comprenant le bâtiment nucléaire, la tête de descendrière colis et l'ouvrage de liaison entre les deux ;
- la « zone exploitation » comprenant des ouvrages support à l'exploitation de l'INB, dont :
 - ✓ la tête de descendrière de service ;
 - ✓ les ateliers et magasins support ;
 - ✓ les ouvrages liés à la gestion des eaux et effluents ;
 - ✓ les ouvrages de protection du site.

Les installations et ouvrages de l'INB en zone descendrière sont intégrés dans des secteurs clôturés permettant d'assurer les procédures de contrôle et d'apporter le niveau de protection approprié à chacune d'entre elles.

L'ensemble de ces installations et ouvrages est desservi par des cheminements piétons ainsi que par un réseau de voiries internes adaptées à des circulations à faible vitesse de véhicules légers et de poids lourds.

Un réseau de tuyauteries (alimentation en eau, collecte des eaux pluviales ou usées, transfert de chaleur ou de froid) et un réseau de câbles (courants forts, courants faibles et données) maillent la zone en fonction des besoins des installations.



CG-01-D-MGE-AMOA-CM0-0000-21-0047-C

Figure 4-1 Illustration du plan de masse de la zone descendrière

4.1.1.1 La réception des convois ferroviaires

Les convois de colis de déchets radioactifs expédiés par les producteurs arrivent sur le terminal ferroviaire nucléaire en zone descendrière *via* le réseau ferré national et, sur les derniers kilomètres, par l'installation terminale embranchée (ITE).

À leur arrivée, après un premier contrôle administratif, les wagons chargés sont stationnés sur le terminal avant d'être dirigés vers le bâtiment nucléaire de surface EP1. Ce transfert est réalisé par un engin de manœuvre (locotracteur électrique) qui se déplace au sein de l'installation nucléaire de base (INB).

Le bâtiment nucléaire de surface EP1 permet par ailleurs l'accueil des convois routiers pour les emballages arrivant sur le site par transport routier. Un hangar de maintenance, localisé à proximité des voies, permet la maintenance du locotracteur et la recharge de ses batteries.

4.1.1.2 Les installations nucléaires de surface

Les installations nucléaires de surface en zone descendrière regroupent l'ensemble des bâtiments et surfaces consacrés à la réception et à la préparation des colis en vue de leur stockage en couche géologique profonde.

Les ouvrages concernés s'inscrivent dans l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo, à l'intérieur de la clôture de la zone restreinte intégrant le bâtiment nucléaire EP1 (ZREP1) en zone descendrière.

Les ouvrages structurants pour les installations nucléaires de surface en zone descendrière sont les suivants (cf. Figure 4-2) :

- le bâtiment nucléaire de surface EP1 pour la gestion des déchets MA-VL et des déchets HA0 du quartier pilote HA, implanté proche de l'axe de la descendrière du côté de la commune de Saudron ;
- la tête de descendrière colis (TDC) reliée à EP1. Après des modifications réalisées en tranche ultérieure (TU), la tête de descendrière sera reliée à EP2 par des galeries souterraines ;
- des voies routières entourant les installations nucléaires et permettant leur accès, ainsi que les réseaux de collecte des eaux pluviales, l'ensemble étant construit en tranche 1 ;
- un bâtiment de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal (ETH), dont la liaison avec le bâtiment nucléaire de surface EP1 est réalisée sur la façade est, par une ouverture dans le bâtiment EP1 ;
- le bâtiment principal des installations nucléaires de surface EP2, pour la gestion des déchets HA1/HA2 et des colis placés dans les espaces intercalaires dans le quartier de stockage HA, implanté proche de l'axe de la descendrière, en miroir d'EP1.

Un accès ferroviaire dessert les bâtiments EP1, EP2 et ETH. Une voie routière permet aussi d'accéder aux différentes installations.

Le planning de construction des installations nucléaires de surface est adapté aux besoins issus de la chronique de livraison des déchets.



Figure 4-2 Schéma du périmètre du chiffrage des ouvrages nucléaires de surface à terminaison (EP1, ETH, TDC et EP2) - configuration DAC

Les installations nucléaires de surface du centre de stockage Cigéo doivent réaliser l'ensemble des opérations permettant la mise à disposition des colis de stockage jusqu'au niveau du dispositif de transfert des colis vers le fond.

Cela comprend les opérations de procédé suivantes :

- l'accueil des convois ferrés et routiers ;
- les contrôles et le déchargement des convois ;
- la réception, les contrôles et le déchargement des emballages de transport des colis de déchets (colis primaires) ;
- les contrôles des colis primaires ;
- les contrôles hors flux des colis primaires (CP) ;
- l'entreposage des colis non conformes ;
- la constitution, la préparation et la fermeture des colis de stockage, les contrôles et l'entreposage des colis de stockage.

N.B. : les fonctions de préparation et de fermeture varient suivant les types de colis primaires :

- ✓ pour les colis MA-VL : mise sur plateau pour les colis MA-VL gerbables éligibles au stockage direct, mise en panier acier pour les colis MA-VL non gerbables et/ou pour des critères d'optimisation de flux qui sont éligibles au stockage direct, mise en conteneur de stockage béton avec couvercle vissé pour les autres colis MA-VL, ou mise en conteneur de stockage avec couvercle vissé puis clavé avec du liant hydraulique pour les colis MA-VL nécessitant un confinement renforcé ;
- ✓ pour les colis HA : soudage du conteneur de stockage en acier dans lequel sont mis les colis primaires HA (CP), avec toutes les opérations annexes associées au procédé (usinage, détensionnement, contrôles).

- la mise en tampon des colis de stockage ;
- la mise à disposition des colis de stockage au dispositif de transfert par hottes (interface avec le dispositif de transfert surface-fond) ;
- le pilotage par conduite centralisée de l'ensemble des installations du centre de stockage Cigéo.

Le portefeuille des optimisations techniques retenues comporte trois ensembles d'optimisations :

- quatre optimisations avec un effet d'économie direct sur le chiffrage des bâtiments nucléaires de surface EP1 et EP2 :
 - ✓ O-035 - Réalisation des contrôles hors flux sur les sites des producteurs conduisant à une modification du génie civil du bâtiment EP1 ;
 - ✓ O-103 - Optimisations du bâtiment nucléaire EP1 ;
 - ✓ O-246 - Suppression de la fonction de clavage de certains conteneurs de stockage MA-VL ;
 - ✓ O-038a/b - Optimisations du bâtiment EP2.
- deux optimisations portant sur le planning de construction ou de déconstruction :
 - ✓ O-036 - Intégration dans EP1 de la fonction de déchargement horizontal portée en configuration DAC par le bâtiment ETH ;
 - ✓ O-192 - Déconstruction de EP1 au plus tôt et suppression de la mise sous cocon.
- trois optimisations portant sur d'autres zones de l'installation impactant les ouvrages nucléaires de surface, notamment l'ouvrage de tête de descenderie colis et le bâtiment nucléaire de surface EP2 :
 - ✓ O-210a/c - Diminution du linéaire de galerie d'accès du quartier de stockage HA par l'augmentation de la longueur des alvéoles ;
 - ✓ O-234 - Compactage de la chronique HA en retardant de huit ans l'arrivée du premier colis HA, sans modifier la date de fin d'exploitation ;
 - ✓ O-114 - Optimisation de la ZSL Exploitation - linéarisation de l'architecture en lien avec la remontée des groupes froids en surface.

Ces optimisations et leur intégration dans chaque configuration 1, 2 ou 3 sont détaillées dans les chapitres qui suivent en fonction du périmètre impacté.

4.1.1.2.1 Le bâtiment nucléaire de surface EP1

Le bâtiment nucléaire de surface EP1 est dédié au déchargement, au contrôle et à la préparation pour le stockage des colis de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et des premiers colis de haute activité, notamment dégageant peu de chaleur (HAO). Ce bâtiment est partiellement enterré. Il est relié par un ouvrage de liaison (galerie) à la tête de la descenderie colis (TDC).

Après passage par un système de filtration de très haute efficacité (THE), l'air évacué par la ventilation nucléaire du bâtiment est contrôlé avant d'être rejeté par une cheminée d'extraction (de l'ordre d'une quarantaine de mètres de hauteur au-dessus des voiries d'accès du bâtiment).

Le bâtiment nucléaire de surface EP1 est constitué des grandes zones suivantes (cf. Figure 4-3) :

- une zone abritant le process nucléaire permettant :
 - ✓ le déchargement des emballages de transport utilisés pour la livraison des colis dits « primaires » (CP) ; les colis extraits sont contrôlés pour vérifier leur intégrité ainsi que la conformité de leurs caractéristiques telles que déclarées pour leur transport ;
 - ✓ la confection des colis de stockage en prévision de leur stockage profond ; en fonction de leurs caractéristiques, les colis de stockage correspondent (i) à un conteneur de stockage renfermant un ou plusieurs colis primaires, (ii) à un panier regroupant plusieurs colis primaires ou (iii) aux colis primaires directement pour certains colis ;
 - ✓ l'introduction des colis de stockage finalisés dans une hotte, cette dernière étant acheminée vers l'ouvrage de la tête de descenderie colis pour être placé sur le chariot du funiculaire ;

- une zone de contrôles dits « hors flux », pour le cas où de tels contrôles seraient réalisés sur le site de l'INB Cigéo ;
- une zone conventionnelle, ne contenant pas de colis de déchets ; elle abrite des bureaux et la salle de conduite centralisée à partir de laquelle sont commandées les opérations nécessaires au fonctionnement (contrôle visuel et gestion des alarmes) des installations.

Un ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal est prévu d'être construit, raccordé au bâtiment nucléaire de surface EP1 et exploité de façon différée aux zones précitées (appelé ETH). Dans cet ouvrage, une fois les colis primaires déchargés, les contrôles et la confection des colis sont repris dans le bâtiment nucléaire de surface EP1.

Les opérations sur les colis sont automatisées et suivies par vidéosurveillance à partir de la salle de conduite centralisée.

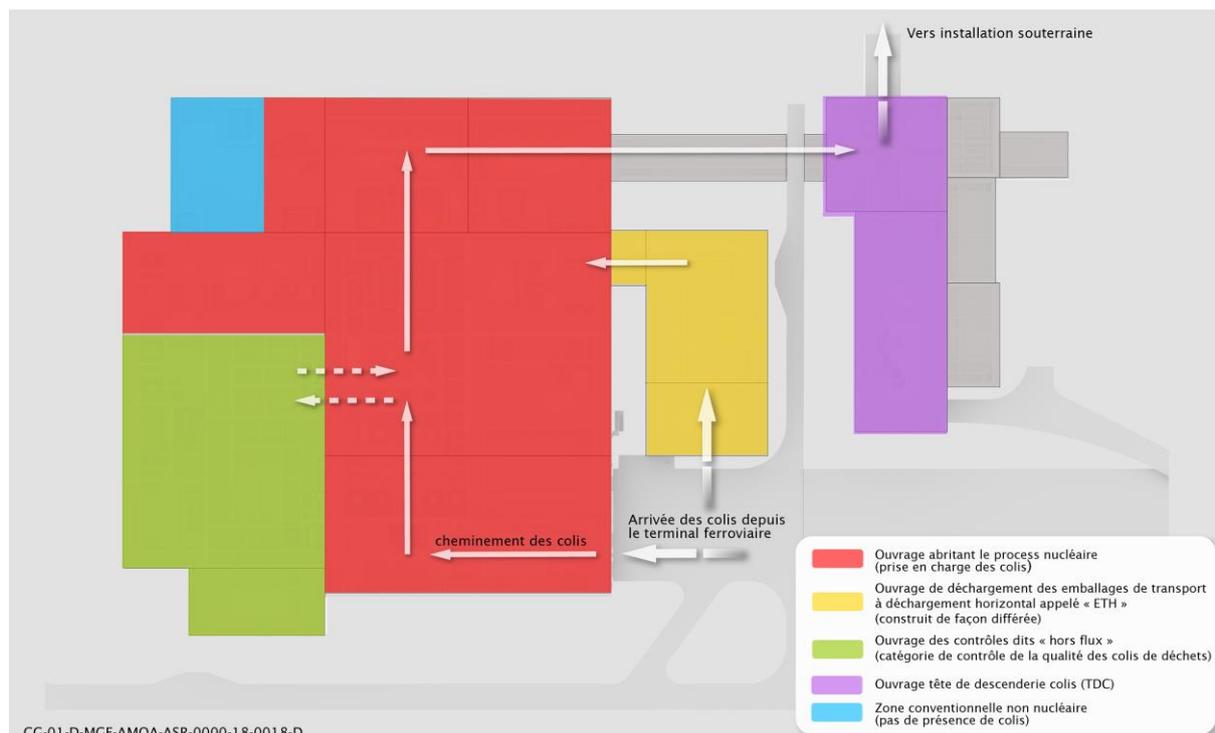


Figure 4-3 Principe de l'organisation spatiale du bâtiment nucléaire de surface EP1 et de la tête de descenderie colis

Cinq optimisations de conception sont envisagées sur le bâtiment EP1, et sont prises en compte dans le chiffrage des configurations 1, 2 ou 3 (cf. Tableau 4-1). Elles se traduisent par la suppression de certains équipements, une modification de la surface au sol du bâtiment et une modification du planning de déconstruction à l'issue du démantèlement.

Tableau 4-1 Liste des optimisations impactant le périmètre du bâtiment nucléaire de surface EP1 selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Ouvrages nucléaires de surface				
O-103	Optimisations du bâtiment EP1	X	X	X
O-246	Suppression de la fonction de clavage des colis dans EP1		X	X
O-035	Réalisation des contrôles hors flux sur les sites producteurs conduisant à une modification du génie civil du bâtiment EP1			X
O-036	Intégration dans EP1 de la fonction de déchargement horizontal portée par le bâtiment ETH		X	X
Travaux de démantèlement et fermeture				
O-192	Déconstruction de EP1 au plus tôt et suppression de la mise sous cocon	X	X	X

► CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AU BÂTIMENT NUCLÉAIRE DE SURFACE EP1

Dans le cadre du chiffrage, les configurations suivantes sont considérées :

- **configuration DAC**
 - ✓ la surface développée considérée pour le bâtiment EP1 est de 74 872 m² (27 833 m² d'emprise au sol). Cette surface abrite notamment une zone de contrôles dits « hors flux » d'une surface développée de 19 135 m² et des équipements dédiés au clavage⁸ de certains colis MA-VL dont les caractéristiques de confinement seraient insuffisantes (une cellule unique pour la réalisation du vissage et du clavage des CP, des locaux supports (zone avant, zone arrière et sur-cellule)) ;
 - ✓ le bâtiment EP1 est ensuite démantelé à l'issue de l'exploitation. La déconstruction est différée de 50 ans pour être réalisée en même temps que celle du bâtiment EP2.
- **configuration 1**
 - ✓ la surface développée considérée pour le bâtiment EP1 est de 68 610 m². La réduction de surface par rapport à la configuration DAC est notamment liée à un réagencement de certains locaux et à la mutualisation de postes de contrôle (optimisation O-103) ;
 - ✓ le bâtiment EP1 est ensuite démantelé et déconstruit à l'issue de l'exploitation (optimisation O-192).

⁸ La fermeture des colis de stockage MA-VL consiste à visser le couvercle des conteneurs de stockage (ou paniers) sur le corps du conteneur chargé de colis primaires MA-VL. L'opération de clavage consiste à remplir l'interstice entre le couvercle et le corps du conteneur de stockage avec un liant hydraulique, afin de lui conférer de meilleures propriétés de confinement. Les colis de stockage MA-VL ne sont pas tous concernés par cette opération, ce sont les caractéristiques des colis primaires qui déterminent si le clavage est à réaliser.

- **configuration 2**

- ✓ la surface développée considérée pour le bâtiment EP1 est de 72 107 m². Cette configuration fait l'hypothèse complémentaire que les résultats des études menées démontrent que les caractéristiques de confinement sont suffisantes et que la fonction de clavage n'est pas nécessaire (optimisation O-246) : les équipements dédiés sont alors supprimés (poste préparation liant de clavage et robot de clavage du poste « vissage/clavage ») permettant un gain de surface complémentaire théorique de 179 m². La fonction de déchargement horizontal est intégrée au bâtiment EP1 induisant une augmentation de sa surface de 3 676 m², du fait de la suppression du bâtiment ETH (optimisation O-036, cf. Chapitre 4.1.1.2.3 du présent document).
- ✓ le bâtiment EP1 est ensuite démantelé et déconstruit à l'issue de l'exploitation (optimisation O-192).

- **configuration 3**

- ✓ la surface développée considérée pour le bâtiment EP1 est de 68 817 m². En complément des optimisations de la configuration 2, les contrôles hors flux sont réalisés sur les sites des producteurs (optimisation O-035) conduisant à la suppression des équipements dédiés à cinq types de contrôles et à un gain complémentaire de surface potentiel de 3 290 m². Le personnel dédié à ces contrôles n'est alors plus comptabilisé dans le chiffrage.
- ✓ le bâtiment EP1 est ensuite démantelé et déconstruit à l'issue de l'exploitation (optimisation O-192).

4.1.1.2.2 L'ouvrage de la tête de descenderie colis (TDC)

Construit lors de la T1, l'ouvrage de la tête de descenderie colis (TDC) est localisé à l'est du bâtiment nucléaire de surface EP1. Il est raccordé au process du bâtiment EP1 par une galerie de liaison souterraine et a pour principales fonctions :

- permettre le chargement et le déchargement des hottes sur le funiculaire ;
- réaliser la maintenance du véhicule funiculaire ;
- accueillir la machinerie du funiculaire ;
- réceptionner les hottes, matériels, équipements de maintenance et consommables nécessaires pour l'exploitation ;
- permettre l'extraction d'air de la descenderie colis.

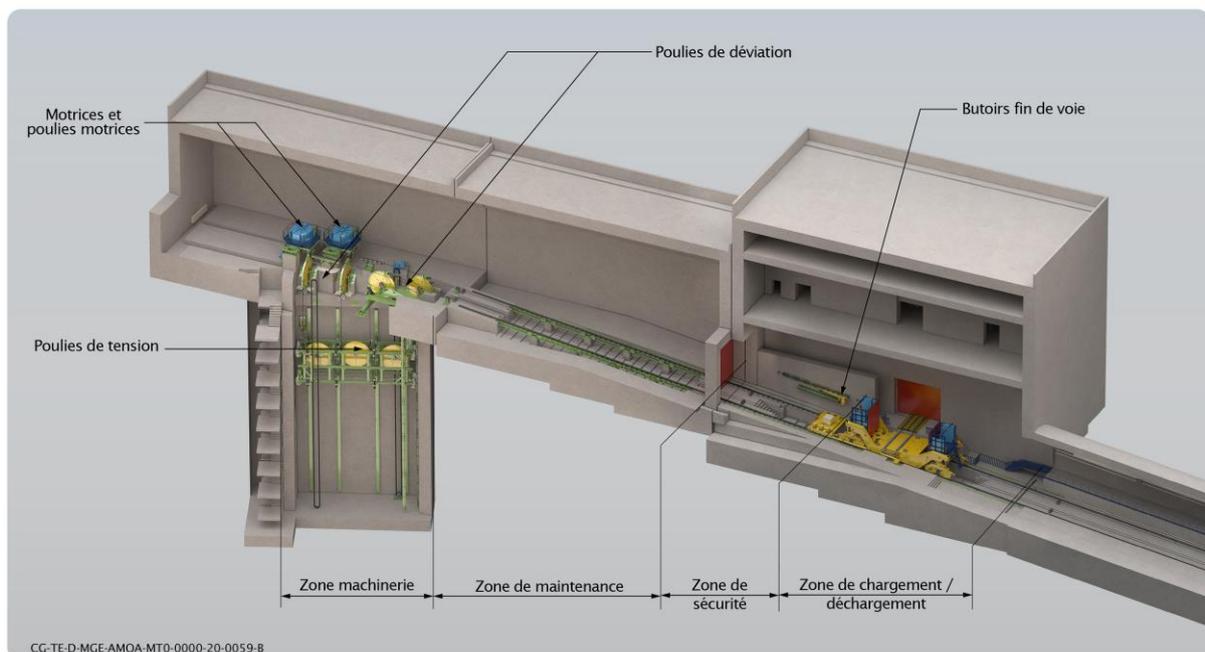


Figure 4-4

Illustration en coupe de la tête de descenderie du funiculaire

Une optimisation de conception concernant la zone de soutien logistique exploitation conduit à une modification de l'ouvrage de tête de descenderie colis (cf. Tableau 4-2) : les groupes froids remontés en surface (optimisation O-114) sont déplacés dans la tête de descenderie colis entraînant une augmentation de la surface au sol du bâtiment.

Cette optimisation est prise en compte dans les configurations 2 et 3, conduisant pour ces deux configurations à une désoptimisation du bâtiment au profit d'économies conséquentes au niveau de la zone de soutien logistique exploitation au fond.

Tableau 4-2 *Liste des optimisations impactant l'ouvrage de la tête de descenderie colis selon les configurations 1, 2 et 3*

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Ouvrages souterrains				
O-114	Optimisation de la ZSL Exploitation : linéarisation de l'architecture en lien avec la remontée des groupes froids en surface		X	X

► CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES À L'OUVRAGE DE LA TÊTE DE DESCENDERIE COLIS (TDC)

Dans le cadre du chiffrage, les configurations suivantes sont considérées :

- **configuration DAC et configuration 1** : la surface développée considérée pour le bâtiment TDC est de 11 499 m² (7 195 m² de surface au sol). Cette surface abrite notamment la gare de surface du funiculaire, la zone machine descenderie et des locaux électriques et de ventilation ;
- **configurations 2 et 3** : la surface développée considérée pour le bâtiment TDC est de 11 959 m². Celle-ci augmente de 450 m² pour abriter les groupes froids initialement situés dans la zone de soutien logistique exploitation au fond (optimisation O-114).

4.1.1.2.3 L'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal (ETH)

L'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal (ETH) est un ouvrage qui sera raccordé au bâtiment nucléaire de surface EP1 en vue la mise en service des tranches ultérieures. L'objectif principal de cet ouvrage est de permettre la réception d'emballages à déchargement horizontal.

Le bâtiment nucléaire de surface EP1 a été étudié dès l'origine dans l'objectif de permettre la jonction d'un ouvrage construit en tranche ultérieure. Cela se concrétise par la possibilité de raccorder l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal (ETH) au bâtiment nucléaire de surface EP1 par un tunnel de transfert, positionné afin d'assurer la mutualisation d'un transbordeur entre les deux, assurant ainsi une continuité de la manutention.

Les principales fonctions d'exploitation de l'ouvrage ETH sont :

- la réception de wagons contenant des emballages de transport à déchargement horizontal ;
- le déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal ;
- le déchargement des colis primaires issus d'emballages à déchargement horizontal ;
- le contrôle des colis primaires en ligne issus des emballages à déchargement horizontal ;
- le transfert sur palettes des colis de stockage vers le bâtiment nucléaire de surface EP1.

Deux voiles « fusibles » (dont le ferrailage n'entre pas dans les calculs structurels du bâtiment EP1) sont prévus dès l'origine pour réaliser une jonction vers un tunnel de liaison ayant pour objectif d'éloigner la zone construction de l'ouvrage ETH. Cette disposition facilite, d'une part, la construction d'ETH en chantier séparé et clos et, d'autre part, permet de construire cet ouvrage sans présenter de risque pour l'exploitation du bâtiment EP1.

L'exploitation d'EP1 doit être arrêtée pour réaliser le percement des voiles fusibles. Le préalable à cette phase consiste en l'arrêt de la réception des colis et la mise en stockage des colis restants de façon à pouvoir déclasser l'ensemble de l'installation pour des travaux. La suppression des deux voiles est pratiquée à la fin des travaux de construction d'ETH.

Une optimisation de l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal est envisagée dans le chiffrage des configurations 2 et 3 (cf. Tableau 4-3).

Tableau 4-3 *Liste des optimisations impactant l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal selon les configurations 1, 2 et 3*

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-036	Intégration dans EP1 de la fonction de déchargement horizontal portée par le bâtiment ETH		X	X

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES À L'OUVRAGE DE DÉCHARGEMENT DES EMBALLAGES DE TRANSPORT À DÉCHARGEMENT HORIZONTAL (ETH)

Dans le cadre du chiffrage, les configurations suivantes sont considérées :

- **configuration DAC et configuration 1** : la surface développée considérée pour le bâtiment ETH est de 7 351 m² (3 261 m² de surface au sol) ;
- **configurations 2 et 3** : le bâtiment ETH est supprimé en tant que tel, la fonction de déchargement horizontal étant directement prise en charge dans le bâtiment EP1 dont la surface serait augmentée (optimisation O-036).

4.1.1.2.4 Le bâtiment nucléaire de surface EP2

Construit à l'horizon 2080 pour la mise en service du quartier de stockage HA, l'objectif principal du bâtiment EP2 est de permettre la réception des colis de haute activité, notamment les colis HA1 et HA2, ainsi que certains colis MA-VL vitrifiés stockés dans le quartier de stockage HA.

Le bâtiment nucléaire de surface EP2 est raccordé aux installations existantes par une jonction à l'est de la tête de descenderie colis, laquelle comprend des dispositions constructives afin de faciliter le raccordement par un ouvrage de liaison.

Le bâtiment nucléaire de surface EP2 reprend globalement l'ensemble des fonctions et activités dans le bâtiment nucléaire de surface EP1. Des adaptations possibles du bâtiment sont prévues, en lien avec le développement incrémental et les choix de gouvernances ultérieurs.

Certaines simplifications sont possibles par rapport aux types de colis réceptionnés plus standard (colis de déchets vitrifiés) qui permettent l'utilisation d'un système de préhension unique pour les colis primaires et pour les colis de stockage, dont la géométrie est identique, et qui pourraient permettre l'optimisation dimensionnelle de certains locaux.

À ce stade, une réserve foncière prudente a été retenue, sans préjuger d'une réduction rendue possible par des optimisations futures, notamment issues du retour d'expérience d'EP1.

Deux optimisations ont un effet d'économie direct sur le chiffrage du bâtiment nucléaire de surface EP2 :

- O-038a - Optimisations du bâtiment EP2 : compacité des zones tampon : les palettes de la zone tampon sont remplacées par des racks à demeure permettant d'augmenter le taux d'utilisation de la surface ;
- O-038b - Optimisations du bâtiment EP2 : modification des systèmes de transfert : le concept de transfert centralisé est remplacé par un concept de transfert direct entre les zones fonctionnelles ; les dimensions des portes de radioprotection sont alors adaptées au juste besoin du flux de transfert.

Deux optimisations de conception concernant le quartier de stockage HA et la conception des conteneurs HA conduisent à des modifications de l'ouvrage nucléaire de surface EP2 (cf. Tableau 4-4) :

- l'augmentation de la longueur des alvéoles HA (optimisations O-210a et O-210c) conduit à une augmentation de la surface de la zone tampon du bâtiment EP2 pour accueillir tous les colis à stocker dans deux alvéoles ;
- l'optimisation de l'épaisseur du conteneur de stockage HA (optimisation O-069) conduit à une déstandardisation des diamètres de conteneurs nécessitant une adaptation des postes de traitement thermique, d'usinage et contrôles non destructifs, du basculeur de colis ainsi que des nacelles supplémentaires pour gérer les différents diamètres à prendre en charge.

Ces optimisations sont prises en compte dans les configurations 2 ou 3, conduisant pour ces deux configurations à des coûts supplémentaires pour le bâtiment EP2 au profit d'économies conséquentes au niveau du quartier de stockage HA.

Tableau 4-4 Liste des optimisations impactant le périmètre du bâtiment nucléaire de surface EP2 selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Ouvrages nucléaires de surface				
O-038a	Optimisations du bâtiment EP2 : compacité des zones tampon	X	X	X
O-038b	Optimisations du bâtiment EP2 : modification des systèmes de transfert		X	X
Colis et quartier de stockage HA				
O-210a	Diminution du linéaire de galerie d'accès du quartier de stockage HA par l'augmentation de la longueur des alvéoles à 180 m	X		
O-210c	Diminution du linéaire de galerie d'accès du quartier de stockage HA par l'augmentation de la longueur des alvéoles à 180 m et allongement des alvéoles de bord à 300 m		X	X
O-069	Optimisation de l'épaisseur du conteneur de stockage HA (à exigence de débit de dose inchangée (10 Gy/h)) et du process de fabrication		X	X

► CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AU BATIMENT NUCLÉAIRE EP2

Dans le cadre du chiffrage, les configurations suivantes sont considérées :

- **configuration DAC** : la surface développée considérée pour le bâtiment EP2 est de 40 501 m². L'entreposage des CS-HA en zone tampon est prévu sur des palettes de 4 CS identiques à celles prévues dans le bâtiment EP1 ;
- **configuration 1** : la surface développée considérée pour le bâtiment EP2 est de 40 032 m². Les palettes de la zone tampon sont remplacées par des racks à demeure de six colis permettant d'augmenter le taux d'utilisation de la surface et ainsi réduire la surface de EP2 de 540 m² (optimisation O-038a) ; des emplacements supplémentaires sont cependant ajoutés en zone tampon pour pouvoir stocker les colis destinés aux alvéoles HA d'une longueur de 180 mètres se traduisant par une augmentation de la surface de 72 m² (optimisation O-210a) ;
- **configurations 2 et 3** : la surface développée considérée pour le bâtiment EP2 est de 38 924 m². la zone tampon est agrandie de 292 m² pour pouvoir stocker les colis destinés aux alvéoles HA d'une longueur de 300 mètres (optimisation O-210c). Le concept de transfert centralisé des colis est remplacé par un concept de transfert direct entre les zones fonctionnelles procédé permettant une réduction de l'emprise du bâtiment de 1 400 m² (optimisation O-038b).

4.1.1.3 Les autres ouvrages de la zone descendrie

4.1.1.3.1 L'entrée de la descendrie de service

L'entrée de la descendrie de service (DS) est un bâtiment permettant notamment l'accès aux ouvrages souterrains (véhicules, maintenance, intervention...) et leur ventilation. Cet accès aux ouvrages souterrains est distinct de la descendrie colis (DC).

4.1.1.3.2 Les ouvrages de protection du site

Au niveau de la zone d'exploitation de la zone descendrie, la protection du site est assurée par :

- des ouvrages permettant la surveillance de l'installation ainsi que le déploiement des moyens opérationnels nécessaires à la gestion des situations d'urgence ;
- un réseau de postes de garde et de clôtures permettant de gérer les accès ;
- les dispositifs de lutte contre l'incendie (réseaux, réservoirs enterrés et locaux pomperie) ;
- une centrale de secours et de distribution électrique 20 kV pour les réseaux normal et secours, et des groupes électrogènes fonctionnant au fioul ;
- un ouvrage de protection contre les remontées de la nappe phréatique permettant notamment de renforcer la protection du bâtiment nucléaire de surface EP1.

Plusieurs solutions de conception sont envisagées pour la protection contre les remontées de la nappe phréatique au niveau de la zone descendrie et du bâtiment nucléaire de surface EP1. La demande d'autorisation de création (DAC) présente une solution de type paroi étanche. Les autres options sont regroupées sous une optimisation générique et sont prises en compte dans le chiffrage des configurations 1, 2 ou 3 (cf. Tableau 4-5).

Tableau 4-5 *Liste des optimisations impactant les ouvrages de protection du site en zone descendrie selon les configurations 1, 2 et 3*

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-148a	Adaptation du dispositif de lutte contre la remontée des nappes : Parois contiguës à EP1 et ouverture ouest	X		
O-148b	Adaptation du dispositif de lutte contre la remontée des nappes : Suppression du linéaire de paroi et maintien des drains		X	X
O-199	Optimisation du bâtiment sûreté/sécurité/environnement		X	X
O-120	Réaménagement des locaux CFI-CC des postes de garde	X	X	X

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX OUVRAGES DE PROTECTION DU SITE

Dans le cadre du chiffrage, les configurations suivantes sont considérées :

- **configuration DAC** : pour la protection contre les remontées de la nappe phréatique au niveau de la zone descendrière et du bâtiment nucléaire de surface EP1, une solution de type paroi étanche est retenue ;
- **configuration 1** : un réaménagement des locaux CFI-CC des postes de garde permet d'en réduire la surface de 5 % (optimisation O-120). La paroi est rapprochée des ouvrages à protéger pour en limiter le linéaire et une adaptation du système de drainage interne à la paroi est considérée afin de mettre en œuvre la protection nécessaire et suffisante (optimisation O-148a) :
 - ✓ linéaire de drains intérieurs et extérieurs = 1 700 ml ;
 - ✓ linéaire de paroi = 2 304 ml.
- **configurations 2 et 3** : le bâtiment sûreté/sécurité/environnement est optimisé permettant une réduction de sa surface développée de 98 m² (optimisation O-199). Une adaptation du système de drainage est considérée relative à la protection nécessaire et suffisante vis-à-vis du risque inondation en supprimant la paroi (optimisation O-148b au lieu de la variante O-148a) :
 - ✓ linéaire de drains intérieurs et extérieurs = 2 507 ml ;
 - ✓ linéaire de paroi = 0 ml.

4.1.1.3.3 L'atelier et le magasin support

Un atelier et un magasin de pièces de rechange permettent la maintenance et le stockage des principales pièces de rechange nécessaires au process nucléaire.

Une optimisation concernant l'atelier de maintenance INB en zone descendrière est envisagée et est prise en compte dans le chiffrage des configurations 1, 2 et 3 (cf. Tableau 4-6).

Tableau 4-6 *Liste des optimisations impactant les ateliers de maintenance de la zone descendrière selon les configurations 1, 2 et 3*

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-100	Ajustement de la durée d'exploitation de l'atelier de maintenance INB en zone descendrière suite au report de la fonction de maintenance légère au sein de EP1	X	X	X

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES A L'ATELIER ET AU MAGASIN SUPPORT

Pour les **configurations 1, 2 et 3**, la fonction de maintenance légère de l'atelier de maintenance INB est reportée dans le bâtiment EP1 permettant de limiter la durée d'exploitation d'une partie du bâtiment (500 m²) à la période d'assemblage et de qualification des hottes (optimisation O-100).

4.1.1.3.4 Les ouvrages liés à la gestion des eaux et au traitement des effluents liquides conventionnels

Les principes de gestion des eaux pluviales et des effluents sont les suivants :

- les eaux pluviales sont collectées et acheminées dans des bassins étanches de traitement, contrôlées et régulées avant rejet ;
- l'eau collectée dans l'installation souterraine, comprenant des eaux d'exhaure et des eaux industrielles, est pompée vers un bassin étanche, contrôlée et traitée ; ces eaux sont principalement recyclées puis stockées pour réutilisation interne ; l'excédent fait l'objet d'un rejet local régulé après contrôle ;
- les eaux usées, comprenant les eaux-vannes (toilettes), les eaux grises (douches, lavabos, cuisine...) ainsi que les eaux conventionnelles de surface, sont contrôlées, traitées au sein de la station d'épuration puis stockées en réservoir pour réutilisation interne ; l'excédent fait l'objet d'un rejet local régulé après contrôle ;
- les effluents liquides non conventionnels provenant des zones à production possible de déchets nucléaires ou collectées en têtes des alvéoles HA, font l'objet d'une gestion distincte (vers des filières externalisées) sans aucun rejet dans l'environnement du centre de stockage⁹.

Le traitement des eaux de la zone descendrière est assuré par différents dispositifs :

- une station d'épuration pour le traitement des eaux usées ;
- un dispositif de traitement des eaux de fond (unité de traitement, bassin de décantation...) ;
- des bassins qualitatifs nécessaires à la gestion des eaux pluviales recueillies sur les surfaces imperméabilisées ainsi que sur les surfaces non imperméabilisées collectées ;
- des bassins quantitatifs avant rejet vers le milieu extérieur à débit régulé ;
- des bassins complémentaires, dits de « confinement »¹⁰.

Une optimisation concernant l'utilisation de l'eau pluviale en zone descendrière est envisagée et est prise en compte dans le chiffrage des configurations 1, 2 et 3 (cf. Tableau 4-7).

Tableau 4-7 *Liste des optimisations impactant les ouvrages liés à la gestion des eaux de la zone descendrière selon les configurations 1, 2 et 3*

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-182	Utilisation de l'eau pluviale au même titre que l'eau recyclée pour les besoins internes	X	X	X

⁹ Le process nucléaire lié aux opérations de manutention des colis ne génère pas d'effluents radioactifs liquides. Pendant le fonctionnement de l'INB, certains effluents collectés dans les zones à production possibles de déchets nucléaires (*i.e.* Opérations de décontamination à la suite des contrôles radiologiques) ou dans le système de collecte des eaux d'exhaure des alvéoles HA (eaux ayant été au contact des colis de déchets) pourront potentiellement contenir des substances radioactives.

¹⁰ Ces bassins sont « complémentaires » aux bassins qualitatifs de gestion des eaux pluviales de la ZD et de la ZP. Ces deux bassins complémentaires dits de « confinement » récupèrent uniquement les eaux pluviales collectées au droit du terminal ferroviaire nucléaire de la ZD pour contrôle radiologique.

► CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES A LA GESTION DES EAUX PLUVIALES

Pour les **configurations 1, 2 et 3**, un réservoir et un réseau de distribution de l'eau pluviale sont ajoutés en zone descendrière afin de réduire la consommation d'eau potable.

4.1.1.3.5 Les autres ouvrages de la zone descendrière

Outre les ouvrages du périmètre INB, la zone descendrière comprend également :

- une zone administrative accueillant :
 - ✓ les bâtiments administratifs pour l'ensemble du centre de stockage ;
 - ✓ le centre de formation du personnel et d'essais des équipements du centre de stockage Cigéo ;
 - ✓ le restaurant d'entreprise ;
 - ✓ l'atelier de maintenance conventionnelle de surface : ce bâtiment, regroupant atelier et magasin, permet la maintenance courante et le stock principal des pièces de rechange. Il abrite également les moyens nécessaires à l'entretien des bâtiments, des voiries et des espaces verts ;
 - ✓ l'aire de distribution du carburant pour les véhicules légers.
- une zone dédiée à l'accueil du public, regroupant en particulier un bâtiment d'accueil du public et un bâtiment dédié notamment à la conservation de la mémoire ;
- une zone utilités regroupant les installations permettant la production et la distribution d'énergie et de fluides sur la zone descendrière ;
- une zone destinée aux installations du terminal ferroviaire fret.

Plusieurs optimisations concernant les ouvrages en zone descendrière sont envisagées et sont présentées au chapitre 4.1.3 du présent document. Les surfaces considérées pour chaque bâtiment en fonction de la configuration chiffrée sont présentées dans la « Pièce 6 – Chiffrage des coûts d'investissement des installations conventionnelles de surface et des verses (SS3) » (5) et la « Pièce 8 – Chiffrage des coûts d'investissement des installations communes (SS5) et des aménagements préalables (Apr) » (7) du présent dossier.

4.1.2 Les ouvrages en zone puits

L'INB Cigéo en zone puits (ZP) est dédiée principalement aux installations de soutien aux activités souterraines de stockage et de travaux (déploiement progressif des zones de stockage). Cette zone inclut la surface nécessaire pour la gestion de l'argilite excavée.

Les installations et ouvrages de l'INB en zone puits sont intégrés dans des secteurs clôturés permettant d'assurer les procédures de contrôle et d'apporter le niveau de protection approprié. L'ensemble de ces installations et ouvrages est desservi par des cheminements piétons ainsi que par un réseau de voiries internes adaptées à des circulations à faible vitesse de véhicules légers et de poids lourds.

Un réseau de tuyauteries (alimentation en eau, collecte des eaux pluviales ou usées, transfert de chaleur ou de froid) et un réseau de câbles (courants forts, courants faibles et données) maillent la zone en fonction des besoins des installations.

L'INB en zone puits comprend les zones suivantes (cf. Figure 4-5) :

- la « zone travaux » comprenant les installations et ouvrages supports aux travaux en souterrain et incluant la zone de gestion de l'argilite excavée mise en verses ;
- la « zone exploitation » comprenant les installations et ouvrages supports à l'exploitation de l'installation nucléaire souterraine.

Plusieurs optimisations concernant les ouvrages en zone puits sont envisagées et sont présentées au chapitre 4.1.3 du présent document.



CG-01-D-MGE-AMOA-CM0-0000-21-0048-C

Figure 4-5 Illustration du plan de masse de la zone puits

4.1.2.1 Les installations de la zone « travaux » en zone puits

La zone puits travaux regroupe les ouvrages de soutien aux activités souterraines de travaux et de gestion des déblais d'excavation (verses).

Le principe retenu est de déployer les ouvrages souterrains progressivement, par tranches successives, en fonction des besoins de stockage des colis de déchets radioactifs. Des travaux de creusement et d'équipement des quartiers de stockage sont donc effectués pendant la phase de fonctionnement de l'INB. Les activités de travaux sont physiquement séparées des activités liées à l'exploitation nucléaire, aussi bien en surface qu'au fond.

4.1.2.1.1 Les puits travaux

Trois puits de la zone puits travaux sont dédiés aux activités souterraines de travaux :

- le puits « **ventilation air frais travaux** » (VFT) permet l'apport d'air frais et le transfert par ascenseur du personnel vers la partie en travaux de l'installation souterraine :
 - ✓ ce puits comprend un chevalement (structure positionnée au-dessus du puits) qui intègre la machinerie de l'ascenseur et de la cage de secours, ainsi qu'une cabine de contrôle et un accès aux magasins pour l'acheminement du petit matériel ;
 - ✓ des vestiaires et une lampisterie permettent la mise à disposition des équipements de sécurité du personnel avant transfert au fond ; un espace détente ainsi qu'un cheminement couvert relie cet ensemble ;
 - ✓ l'usine de ventilation associée est composée de deux niveaux ; elle comprend les unités de ventilation (traitement de l'air et soufflage) et les locaux techniques.
- le puits « **ventilation air vicié travaux** » (VVT) canalise l'extraction d'air de la zone souterraine travaux :
 - ✓ le bâtiment au-dessus du puits abrite les équipements d'inspection et de maintenance ;
 - ✓ l'usine de ventilation associée est composée de deux niveaux ; elle comprend les unités de ventilation (aspiration) et de récupération de chaleur et les locaux techniques ; elle est reliée à la cheminée d'extraction d'air.
- le puits « **matériels et matériaux travaux** » (MMT) comprenant un ouvrage de transfert ainsi qu'un chevalement, permet de transférer les équipements et les matériels lourds ainsi que les matériaux nécessaires aux travaux souterrains vers la partie en travaux de l'installation souterraine ; il permet aussi de remonter vers la surface les déblais issus des creusements.

Une optimisation de conception des radiers des puits travaux est envisagée et est prise en compte dans le chiffrage de la configuration 3 (cf. Tableau 4-8).

Tableau 4-8 *Liste des optimisations impactant les puits travaux selon les configurations 1, 2 et 3*

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-249	Redimensionnement des radiers des émergences de puits			X

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX PUIITS TRAVAUX EN SURFACE

Les surfaces considérées pour chaque bâtiment en fonction de la configuration chiffrée sont présentées dans la « Pièce 7 – Chiffrage des coûts d’investissement des liaisons surface-fond et des ouvrages souterrains (SS4) » (6) du présent dossier.

En outre, pour la **configuration 3**, les radiers des émergences de puits sont amincis de 20 % sur la base de l’hypothèse de données géotechniques plus favorables et restant à vérifier suite aux résultats de la campagne géotechnique à venir concernant la nappe phréatique (optimisation O-249).

4.1.2.1.2 La gestion des matériaux excavés

L’argilite du Callovo-Oxfordien dans laquelle sont implantés les ouvrages de stockage est excavée progressivement lors des travaux de creusement. Elle est remontée à la surface et gérée sur une zone située au nord de la zone puits.

Parmi les déblais du Callovo-Oxfordien, on distingue :

- les verses vives qui serviront, après leur traitement, de matériau de remblai pour l’obturation et la fermeture définitive de l’installation souterraine. Les verses vives sont stockées sur la partie est de la plateforme et sont recouvertes d’une couverture végétalisée légère de type prairie ;
- les verses mortes, qui ne seront pas réutilisées pour la fermeture du stockage. Les verses mortes sont stockées sur la partie ouest de la plateforme et sont recouvertes d’une épaisseur importante de matériau terreux afin de réaliser la végétalisation au plus tôt.

La végétalisation au plus tôt est le principe directeur permettant de limiter l’impact sur l’environnement.

La surface envisagée pour la zone d’implantation des verses permet principalement :

- la gestion des verses « vives » (environ 40 % du volume extrait total) ;
- la gestion des matériaux terreux réutilisés progressivement pour le couvert végétal des verses ;
- la gestion des flux de verses « mortes » qui sont évacuées du site pour valorisation.

La figure 4-6 permet de visualiser la zone de gestion des verses. La zone Z1 permet l’implantation des verses vives dès le début de la construction initiale. La zone Z2 est prévue en mesure conservatoire correspondant à l’extension de l’installation souterraine en tranches ultérieures.



Figure 4-6 Plan de principe de localisation du déploiement des verses en zone puits

Une optimisation de planning de réalisation des plateformes des verses est envisagée et elle est prise en compte dans le chiffrage des configurations 2 et 3 (cf. Tableau 4-9).

Tableau 4-9 Liste des optimisations impactant la gestion des matériaux excavés selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-106	Optimisation des verses : Report du plateformage des verses pour la deuxième tranche de réalisation		X	X

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX VERSES

Dans le cadre du chiffrage, les configurations suivantes sont considérées pour le déploiement des verses en zone puits :

- **configuration DAC et configuration 1** : les plateformes des verses sont réalisées suivant les deux zones : Z1 pendant la période d'aménagements préalables, et Z2 en tranche 1 ;
- **configurations 2 et 3** : le planning de réalisation des plateformes des verses est optimisé (optimisation O-106). La plateforme des verses Z2 est reportée après la mise en service de l'exploitation en amont de la deuxième tranche de construction du quartier MA-VL.

4.1.2.1.3 Les autres ouvrages de la « zone puits travaux »

Un bâtiment implanté à proximité du puits matériels et matériaux travaux assure le stockage de pièces de rechange et la maintenance des équipements nécessaires à la construction souterraine.

Des zones de stockage permettent l'entreposage à ciel ouvert de matériel ou de matériaux utiles aux travaux et qui ne nécessitent pas d'être protégés des conditions climatiques extérieures.

Deux parkings poids lourds (pour les engins de travaux) sont implantés sur la zone, à proximité d'une aire de carburant et d'une aire de lavage.

Un réseau de postes de garde et de clôtures permet de gérer les différents accès.

Les eaux pluviales qui ruissellent sur les parties des verses sans couvert végétal sont collectées par un fossé étanche qui les dirige vers un bassin qualitatif. Elles transitent ensuite vers un bâtiment de traitement puis vers un bassin quantitatif avant rejet régulé dans l'Ormançon par des ouvrages de diffusion.

4.1.2.2 Les installations de la zone exploitation de la zone puits

La zone exploitation de la zone puits regroupe les installations de soutien aux activités souterraines d'exploitation nucléaire.

4.1.2.2.1 Les puits de la zone d'exploitation souterraine

Deux puits sont dédiés aux activités souterraines d'exploitation nucléaire :

- le puits « **ventilation air frais exploitation** » (VFE) permet d'assurer le transfert du personnel vers la zone de soutien logistique exploitation et l'apport d'air frais vers la zone souterraine en exploitation. Ce puits comprend :
 - ✓ un chevalement (structure positionnée au-dessus du puits) qui intègre la machinerie de l'ascenseur et de la cage de secours, ainsi qu'une cabine de contrôle et un accès aux magasins pour l'acheminement du petit matériel ;
 - ✓ des vestiaires et une lampisterie qui permettent la mise à disposition des équipements de sécurité du personnel avant transfert au fond ;
 - ✓ l'usine de ventilation associée, semi-enterrée, qui est composée de deux niveaux ; elle comprend les unités de ventilation (traitement de l'air et soufflage) et les locaux techniques.
- le puits « **ventilation air vicié exploitation** » (VVE) canalise l'extraction d'air de la zone souterraine en exploitation :
 - ✓ le bâtiment au-dessus de ce puits abrite les équipements d'inspection et de maintenance ;
 - ✓ l'usine de ventilation associée est construite sur deux niveaux ; elle comprend les unités de ventilation (aspiration), les unités de récupération de chaleur et les locaux techniques ; elle est reliée à la cheminée d'extraction contenant l'instrumentation de surveillance des rejets.

Trois optimisations concernent les puits de la zone d'exploitation et sont listées dans le tableau 4-10 selon la configuration chiffrée dans laquelle elles sont prises en compte.

Tableau 4-10 Liste des optimisations impactant les puits de la zone d'exploitation selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Redimensionnements des ouvrages				
O-249	Redimensionnement des radiers des émergences de puits			X
O-231	Réduction de la taille des usines de ventilation en zone exploitation en réduisant le nombre de ventilateurs sans impact sur les largeurs de travées		X	X
Regroupements d'ouvrages				
O-203	Mutualisation de l'atelier de maintenance localisé en E-11 de la zone puits avec l'émergence du Puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) et relocalisation des fonctions du bâtiment de lutte contre l'incendie et de secours aux victimes	X	X	X

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX Puits DE LA ZONE D'EXPLOITATION SOUTERRAINE

Les configurations chiffrées tiennent compte des hypothèses suivantes :

- **configuration DAC et configuration 1**
 - ✓ les puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) et « ventilation air vicié exploitation » (VVE) abritent cinq ventilateurs chacun (quatre ventilateurs en fonctionnement normal et un ventilateur de secours, avec la possibilité de fonctionner ponctuellement avec trois ventilateurs seulement en scénario accidentel).
- **configurations 1, 2 et 3**
 - ✓ l'atelier de maintenance localisé en E-11 de la zone puits est intégré au puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) dont la surface augmente en conséquence (optimisation O-203).
- **configurations 2 et 3**
 - ✓ le nombre de ventilateurs des puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) et « ventilation air vicié exploitation » (VVE) est réduit à quatre (trois ventilateurs en fonctionnement normal et un ventilateur de secours) tout en maintenant les objectifs de performance, de sûreté au sens large, en termes de débit de ventilation ; une réduction de la surface de -450 m² pour le bâtiment VFE est considérée grâce à la rationalisation d'une travée de maintenance et la suppression d'une travée de ventilation ; une réduction de la surface de -250 m² pour le bâtiment VVE est considérée grâce à la suppression d'une travée de ventilation ; un système mobile de protection est ajouté dans chaque bâtiment pour protéger les ventilateurs en fonctionnement contre la chute d'un ventilateur à maintenir (optimisation O-231).
- **configuration 3 uniquement**
 - ✓ les radiers des émergences de puits sont amincis de 20 % sur la base de l'hypothèse de données géotechniques plus favorables et restant à vérifier suite aux résultats de la campagne géotechnique à venir concernant la nappe phréatique (optimisation O-249).

Les surfaces considérées pour chaque bâtiment en fonction de la configuration chiffrée sont présentées dans la « Pièce 7 - Chiffrage des coûts d'investissement des liaisons surface-fond et des ouvrages souterrains (SS4) » (6) du présent dossier.

4.1.2.2.2 Les autres ouvrages de la zone puits exploitation

Un atelier permet la maintenance et le stockage de pièces de rechange nécessaires à l'exploitation.

Au niveau de la zone puits, la protection du site est assurée par :

- un poste de lutte contre l'incendie et de secours aux victimes (surface ZP et fond), accueillant les forces de sécurité, leurs locaux et le hangar nécessaire aux véhicules d'intervention ;
- les dispositifs de lutte contre l'incendie (réseaux, réservoirs et locaux de localisation des pompes) ;
- un réseau de postes de garde et de clôtures permettant de gérer les accès ;
- une centrale de secours et de distribution électrique 20 kV pour les réseaux normal et secouru et des groupes électrogènes fonctionnant avec du fioul.

Les principes de gestion des eaux pluviales et des effluents sur la zone puits sont les suivants :

- les eaux pluviales sont collectées et acheminées dans des bassins étanches de traitement, contrôlées et régulées avant rejet ;
- les eaux de fond, comprenant les eaux d'exhaure et des eaux industrielles, sont pompées vers un bassin étanche, contrôlées et traitées ; ces eaux sont principalement recyclées puis stockées en réservoirs pour réutilisation interne ; l'excédent fait l'objet d'un rejet local régulé après contrôle ;

- les eaux usées, comprenant les eaux vannes (WC), les eaux grises (douches, lavabos, cuisine...) ainsi que les eaux conventionnelles de surface sont contrôlées, traitées au sein de la station d'épuration de la zone puits, puis stockées en réservoirs pour réutilisation interne ; l'excédent fait l'objet d'un rejet local régulé après contrôle ;
- les eaux de ruissellement des versants sont collectées et acheminées dans un bassin étanche avant traitement par une filière spécifique ; elles sont ensuite contrôlées et régulées avant rejet.

Le traitement des eaux de la zone puits est assuré par différents dispositifs :

- une station d'épuration pour le traitement des eaux usées ;
- un dispositif de traitement des eaux de fond (unité de traitement, bassin de décantation...) ;
- un dispositif de traitement des eaux de ruissellement des versants (filière spécifique, bassins...) ;
- des bassins qualitatifs nécessaires à la gestion des eaux pluviales recueillies sur les surfaces imperméabilisées ainsi que sur les surfaces non imperméabilisées collectées ;
- des bassins quantitatifs avant rejet vers le milieu extérieur à débit régulé.

4.1.3 Les autres optimisations des ouvrages conventionnels de surface

Plusieurs optimisations sont envisagées pour les ouvrages conventionnels de surface et sont prises en compte dans le chiffrage des configurations 1, 2 ou 3 (cf. Tableau 4-11). Elles consistent notamment en des mutualisations d'ouvrages, des réductions de surface en lien avec le dimensionnement des effectifs, des reports de dates de construction ou encore des modifications de matériaux.

Tableau 4-11 Liste des optimisations impactant les ouvrages conventionnels de surface selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Redimensionnements des ouvrages				
O-096a	Bâtiment administratif localisé en A-06 de la zone descendrière : réduction de la surface du bâtiment en lien avec le dimensionnement des effectifs	X	X	X
O-190	Adapter les surfaces des bâtiments conventionnels au dimensionnement des effectifs	X	X	X
O-105	Ajuster la taille du parking situé en amont du poste de garde ZAC descendrière au dimensionnement des effectifs		X	X
O-097c	Ajustement de la taille du parking silo au dimensionnement des effectifs		X	X
O-120	Réaménagement des locaux CFI-CC des postes de garde	X	X	X
O-263	Suppression de la station météo de la zone puits	X	X	X

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Regroupements d'ouvrages				
O-203	Mutualisation de l'atelier de maintenance localisé en E-11 de la zone puits avec l'émergence du Puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) et relocalisation des fonctions du bâtiment de lutte contre l'incendie et de secours aux victimes	X	X	X
O-099b	Intégration des ateliers de maintenance localisés en A-04 et G-13 de la zone puits à des bâtiments existants		X	X
O-133	Mutualisation des édifices des piézomètres	X	X	X
Modifications des hypothèses planning				
O-095b	Bâtiments d'accueil du public et de conservation de la mémoire : report post T1 de la réalisation des linéaires d'archives intermédiaires		X	X
O-099a	Décalage temporel de l'atelier de maintenance localisé en A-04 de la zone puits	X	X	X
Modification de matériaux				
O-097a	Parking Silo : choix du matériau des façades		X	X
O-204	Installations non nucléaires de surface modulaires, préfabriquées en usine et assemblées sur site			X
Optimisations des ouvrages souterrains ayant une incidence sur les ouvrages conventionnels de surface				
O-215	Optimisation de la ZSL - Travaux	X	X	X

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX AUTRES OUVRAGES CONVENTIONNELS

Les surfaces considérées pour chaque bâtiment en fonction de la configuration chiffrée sont détaillées dans la « Pièce 6 – Chiffrage des coûts d’investissement des installations conventionnelles de surface et des verses (SS3) » (5). En particulier, les surfaces de plusieurs bâtiments sont réduites pour tenir compte d’une évolution des besoins pour donner suite à des redimensionnements des effectifs (optimisations O-096a, O-097c, O-105 et O-190).

En outre, les configurations chiffrées tiennent compte des spécificités suivantes :

- **configuration DAC :**
 - ✓ la façade du parking silo est en corten ;
 - ✓ l’ensemble des ouvrages est construit en tranche 1.
- dans le cadre des **configurations 1, 2 et 3**, les évolutions suivantes sont intégrées :
 - ✓ la construction de l’atelier de maintenance localisé en A-04 de la zone puits est reportée en tranches ultérieures (report de construction de 15 ans) (optimisation O-099a) ;
 - ✓ l’atelier de maintenance localisé en G-13 de la zone puits est agrandi de 500 m² pour accueillir un portique de manutention initialement situé dans la zone de soutien logistique travaux (optimisation O-215) ;
 - ✓ un réaménagement des locaux CFI-CC des postes de garde permet d’en réduire la surface de 5 % (optimisation O-120) ;
 - ✓ la mutualisation des édicules des piézomètres permet d’en réduire le nombre de moitié tout en conservant l’ensemble des forages et stations d’acquisition (optimisation O-133) ;
 - ✓ la station météo de la zone puits est suffisamment proche de celle de la zone descendrière pour être supprimée (optimisation O-263).
- dans le cadre des **configurations 2 et 3**, les évolutions complémentaires suivantes sont intégrées :
 - ✓ la façade du parking silo est remplacée par un bardage en bois résistant (optimisation O-097a) ;
 - ✓ pour le bâtiment d’accueil du public et de conservation de la mémoire : la réalisation de quatre kilomètres de linéaires d’archives intermédiaires est reportée en tranches ultérieures (optimisation O-095b) ;
 - ✓ les ateliers de maintenance localisés en A-04 et G-13 de la zone puits sont intégrés à des bâtiments existants (optimisation O-099b).
- plus spécifiquement pour la **configuration 3**, les évolutions suivantes sont aussi intégrées :
 - ✓ plusieurs ouvrages sont remplacés par des structures préfabriquées modulaires en béton, sous réserve de compatibilité avec les exigences de protection physique dans le cas des postes de garde (optimisation O-204). Les bâtiments concernés sont précisés dans la « Pièce 6 – Chiffrage des coûts d’investissement des installations conventionnelles de surface et des verses (SS3) » et la « Pièce 8 – Chiffrage des coûts d’investissement des installations communes (SS5) et des aménagements préalables (Apr) » (5, 7) du présent dossier.

4.1.4 Les utilités externes et aménagements hors site

L'exploitation du centre de stockage nécessite également :

- des aménagements hors site :
 - ✓ la liaison intersites permet d'assurer les échanges entre la zone descendrière et la zone puits. Elle est constituée de deux infrastructures privatives, une piste routière et une bande transporteuse semi-enterrée, ainsi que d'une route ouverte au public ;
 - ✓ l'installation terminale embranchée (ITE) du centre de stockage Cigéo est une infrastructure ferroviaire privée destinée à raccorder le réseau ferré national (RFN) à la zone descendrière du centre de stockage Cigéo.
- le raccordement aux utilités externes :
 - ✓ l'alimentation électrique du centre de stockage Cigéo est assurée par un raccordement sur une ligne existante 400 kV passant entre la zone descendrière et la zone puits ;
 - ✓ les besoins en eau potable sont assurés par une alimentation double depuis la vallée de l'Ornain et la vallée de la Marne ;
 - ✓ un raccordement aux réseaux publics de télécommunication ;
 - ✓ un raccordement aux réseaux d'énergie thermique ;
 - ✓ la modernisation de la ligne 027000 du réseau ferré national (RFN) ;
 - ✓ la déviation de la route départementale D60/960.

Plusieurs optimisations sont envisagées pour la rénovation de la ligne 027000 et sont prises en compte dans le chiffrage des configurations 2 et 3 (cf. Tableau 4-12).

Tableau 4-12 Liste des optimisations impactant la ligne 027000

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-260a	Optimisations des travaux de rénovation de la ligne 027000 : <ul style="list-style-type: none"> • mise en dépôt définitif des matériaux excavés à proximité du lieu d'extraction • modification de gabarit de l'OA 08 		X	X
O-260b	Optimisations des travaux de rénovation de la ligne 027000 : <ul style="list-style-type: none"> • réduction des travaux antipollution (hypothèse d'une absence de pollution potentielle sur les sols excavés) • suppression de 11 km de piste latérale de maintenance • suppression de 50 % des drainages et bassins 			X

► CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES A LA RÉNOVATION DE LA LIGNE 027000

Les configurations chiffrées tiennent compte des hypothèses suivantes :

- **configuration DAC et configuration 1** : les travaux sur la ligne 027000 seront réalisés tels que prévus dans les études d'avant-projet (AVP) définitif de SNCF réseau ;
- **configurations 2 et 3** : les travaux sur la ligne 027000 sont optimisés (optimisation O-260a) par :
 - ✓ la mise en dépôt définitif des matériaux excavés à proximité du lieu d'extraction ;
 - ✓ la réduction du gabarit considéré pour l'un des ouvrages d'art.
- **configuration 3** : les travaux sur la ligne 027000 seront optimisés (optimisation O-260b) grâce à :
 - ✓ la réduction des travaux antipollution (hypothèse restant à vérifier d'une absence de pollution potentielle sur les sols excavés permettant la prise en compte d'un ratio de catégorie de pollution de 100 % de déchets inertes) ;
 - ✓ la suppression de 11 kilomètres de piste latérale de maintenance ;
 - ✓ la suppression de 50 % des drainages et bassins en considérant certains déblais ou remblais comme secs.

4.2 Les ouvrages souterrains de l'INB Cigéo

Les ouvrages souterrains dédiés au stockage des colis, sont prévus d'être déployés progressivement. Ils sont implantés dans la couche de Callovo-Oxfordien à une profondeur d'environ 500 mètres.

Comme illustré sur la figure 4-7, ils comprennent :

- deux descenderies et cinq puits (ensemble constituant les « liaisons surface-fond ») qui relient respectivement la zone descenderie et la zone puits à la zone de soutien logistique exploitation et à la zone de soutien logistique travaux ;
- une zone de soutien logistique exploitation qui supporte les activités de la zone souterraine en exploitation et par laquelle transitent les colis de déchets radioactifs ;
- une zone de soutien logistique travaux qui supporte les activités de la zone souterraine en travaux et par laquelle transitent les équipements et les matériaux pour la construction ;
- trois quartiers de stockage de colis de déchets :
 - ✓ un quartier pilote HA, pour le stockage de colis de haute activité (notamment des colis dégageant peu de chaleur, dits « HA0 ») ;
 - ✓ un quartier de stockage MA-VL, pour le stockage de colis de moyenne activité à vie longue ;
 - ✓ un quartier de stockage HA, pour le stockage de colis de haute activité HA1/HA2 à l'horizon de 2080 après entreposage de décroissance thermique, de colis HA0 et de certains colis de déchets MA-VL vitrifiés, utilisés comme colis intercalaires.

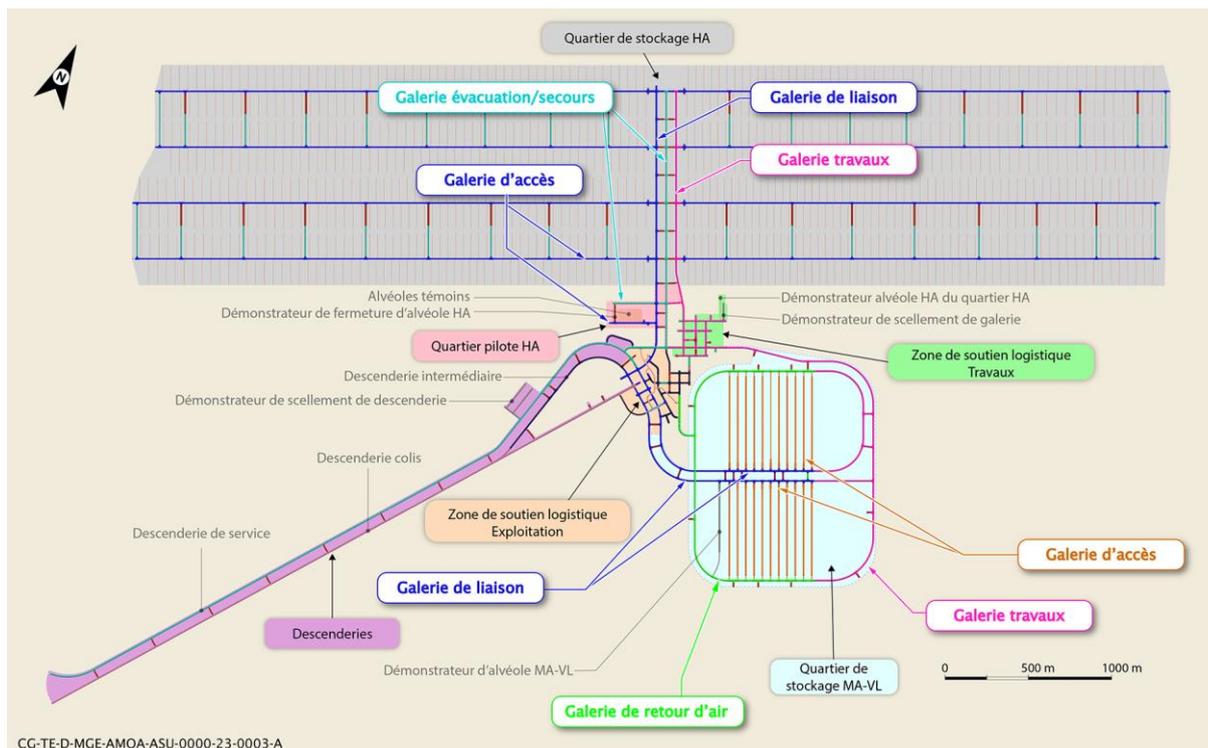


Figure 4-7 *Illustration de l'architecture souterraine de stockage à terminaison pour l'inventaire de référence*

Le déploiement de ces quartiers de stockage se fait de manière progressive, par tranches successives, en commençant par les premiers alvéoles de stockage du quartier de stockage MA-VL et le quartier pilote HA. Ce déploiement est réalisé en assurant une séparation physique et une indépendance du fonctionnement entre la zone souterraine en exploitation et la zone souterraine en travaux pour éviter les risques de coactivité associés.

Les optimisations présentées pour les ouvrages souterrains portent sur :

- le linéaire des galeries des différents ouvrages au plus juste des besoins ;
- le dimensionnement de certains ouvrages ;
- les méthodes de creusement ;
- des sujets induits par des modifications de conditionnement ou de stockage direct des colis.

4.2.1 Les ouvrages communs au fond

Les ouvrages communs au fond comprennent les liaisons surface-fond ainsi que les galeries et locaux situés en dehors des quartiers de stockage, dans les zones de soutien logistique.

La zone de soutien logistique exploitation (ZSLE) qui supporte les activités de la zone souterraine en exploitation est reliée à la zone descendrière en surface par deux descendrières et à la zone puits par deux puits :

- la descendrière colis permet le transfert des colis de déchets radioactifs de la surface vers le fond pour leur mise en stockage. Ce transfert se fait au moyen d'un funiculaire ;
- la descendrière de service, dédiée aux fonctions d'exploitation, permet de réaliser les transferts liés à la maintenance et à l'acheminement de matériels et de matériaux. Lors des interventions d'urgence, elle permet aussi les opérations de secours et d'évacuation du personnel ;
- le puits VVE permet l'extraction d'air de la zone souterraine en exploitation ;
- le puits VFE assure l'apport d'air frais et le transfert du personnel vers la zone souterraine en exploitation.

La zone de soutien logistique travaux (ZSLT) qui supporte les activités de la zone souterraine en travaux et par laquelle transitent les équipements et les matériaux pour la construction des ouvrages souterrains est reliée à la zone puits en surface par trois puits :

- le puits VVT permettant l'extraction d'air de la zone souterraine en travaux ;
- le puits VFT assurant l'apport d'air frais et le transfert du personnel vers la zone souterraine en travaux ;
- le puits MMT de transfert des matériels et matériaux.

Le centre de stockage Cigéo comporte, en complément des descendrières et des puits, une colonne à carburant qui permet l'approvisionnement en carburant des véhicules à moteur thermique utilisés dans l'installation souterraine.

Plusieurs optimisations concernent les ouvrages communs au fond et sont prises en compte dans le chiffrage des configurations 1, 2 ou 3 (cf. Tableau 4-13) :

- deux optimisations relatives au linéaire des zones de soutien logistique, consistant à remonter en surface certains équipements et fonctions dans des ouvrages de surface (optimisations O-114 et O-215) ;
- six optimisations permettant de réduire les coûts de génie civil de l'ensemble des ouvrages souterrains, y compris des quartiers de stockage (optimisations O-128, O-047a, O-047b, O-047c, O-165a et O-227) ;
- une optimisation relative aux platelages des voies de roulement du processus de mise en stockage au fond (optimisation O-228).

Tableau 4-13 Liste des optimisations relatives aux ouvrages communs au fond selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-114	Optimisation de la ZSL Exploitation : linéarisation de l'architecture en lien avec la remontée des groupes froids en surface		X	X
O-215	Optimisation de la ZSL Travaux	X	X	X
O-128	Mise en œuvre d'une colonne à béton		X	X
O-047c	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 5 %	X		
O-047a	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 10 %		X	
O-047b	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 20 %			X
O-165a	Développement de matériaux alternatifs autres que voussoir compressible VMC (hors alvéoles thermiques)	X	X	X
O-227	Optimisations des volumes de béton et de ferrailage dans le génie civil secondaire	X	X	X
O-228	Platelages des voies de roulement réalisés en éléments préfabriqués en béton		X	X

► CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX OUVRAGES COMMUNS AU FOND

Dans le cadre du chiffrage, les configurations suivantes sont considérées :

- **configuration DAC :**
 - ✓ les galeries de la zone de soutien logistique travaux représentent un linéaire total de 2 040 ml ;
 - ✓ les galeries de la zone de soutien logistique exploitation représentent un linéaire total de 5 048 ml ;
 - ✓ le voussoir bicouche est composé de béton et d'une couche compressible, à l'extrados ;
 - ✓ les chariots et navettes circulent en souterrain sur des rails dont les platelages sont en acier.
- dans le cadre des **configurations 1, 2 et 3**, les évolutions suivantes sont intégrées :
 - ✓ zone de soutien logistique travaux : le portique de manutention dédié à la maintenance des gros matériels est remonté en surface dans l'atelier de maintenance localisé en G-13 de la zone puits (cf. Chapitre 4.1.3 du présent document), permettant une réorganisation et une optimisation des locaux de la ZSLT (optimisation O-215) ; les galeries de la zone de soutien logistique travaux représentent alors un linéaire total de 1 655 ml ;
 - ✓ voussoirs bicouches : la couche compressible pourrait être remplacée par d'autres types de matériau compressible (béton léger, éléments préfabriqués en matériau cimentaire ou en terre cuite), permettant une optimisation du comportement mécanique, de la facilité de mise en œuvre et en particulier du coût de fourniture (optimisation O-165a) ;
 - ✓ l'utilisation de fibres métalliques permet de réduire le taux de ferrailage dans les radiers des ouvrages souterrains et ainsi en réduire le coût (optimisation O-227) ;
 - ✓ les épaisseurs de béton de revêtement des galeries définies pendant les études d'avant-projet peuvent être optimisées en tenant compte de marges et des phasages considérés dans les calculs conservatifs d'avant-projet détaillé, ainsi que sur la définition de la loi de comportement (expression mathématique et paramètres associés) : une réduction de l'épaisseur de béton de revêtement pour les galeries creusées au brise-roche hydraulique (BRH) et carrures associées est prise en compte à hauteur de :
 - 5 % pour la configuration 1 (optimisation O-047c) ;
 - 10 % pour la configuration 2 (optimisation O-047a) ;
 - 20 % pour la configuration 3 (optimisation O-047b).
- dans le cadre des **configurations 2 et 3**, les évolutions complémentaires suivantes sont intégrées :
 - ✓ zone de soutien logistique exploitation : la remontée des groupes froids en surface dans la tête de descenderie colis (cf. Chapitre 4.1.1.2.2 du présent document) permet des modifications architecturales des galeries en sortie des puits et des galeries de ventilation. La jonction avec la ZSLT est également supprimée. Les galeries de la zone de soutien logistique exploitation représentent alors un linéaire total de 4 607 ml (optimisation O-114) ;
 - ✓ les éléments de platelage des voies de roulement sont remplacés par des éléments préfabriqués en béton (optimisation O-228) ;
 - ✓ la mise en œuvre d'une colonne à béton permet de réduire les coûts d'acheminement pour la construction des éléments en béton et ainsi de réduire les coûts de génie civil relatifs aux radiers, dalles et revêtements (optimisation O-128).

4.2.2 Le quartier de stockage des colis MA-VL

La zone de stockage des colis MA-VL est conçue pour stocker un total d'environ 170 000 colis primaires. Dans cette zone, les alvéoles ont une longueur de plusieurs centaines de mètres (jusqu'à 500 m), les quatre premiers alvéoles étant prévus d'être construits lors de la tranche 1.

Le quartier de stockage MA-VL est composé de plusieurs types d'ouvrages, répondant aux besoins de l'activité de stockage :

- les galeries de liaison d'exploitation nord et sud ;
- les galeries de liaison « travaux » ;
- les galeries de retour d'air ;
- les galeries de recoupes et les galeries borgnes techniques ;
- les alvéoles de stockage des colis de déchets MA-VL ;
- l'alvéole « démonstrateur ».

Les quatre premiers alvéoles de stockage ainsi que l'alvéole « démonstrateur » du quartier de stockage MA-VL sont prévus d'être réalisés lors de la phase industrielle pilote (en tranche 1). Au-delà de cette période et sous réserve de l'autorisation de poursuivre l'exploitation, les autres alvéoles sont progressivement déployés, par tranches successives.

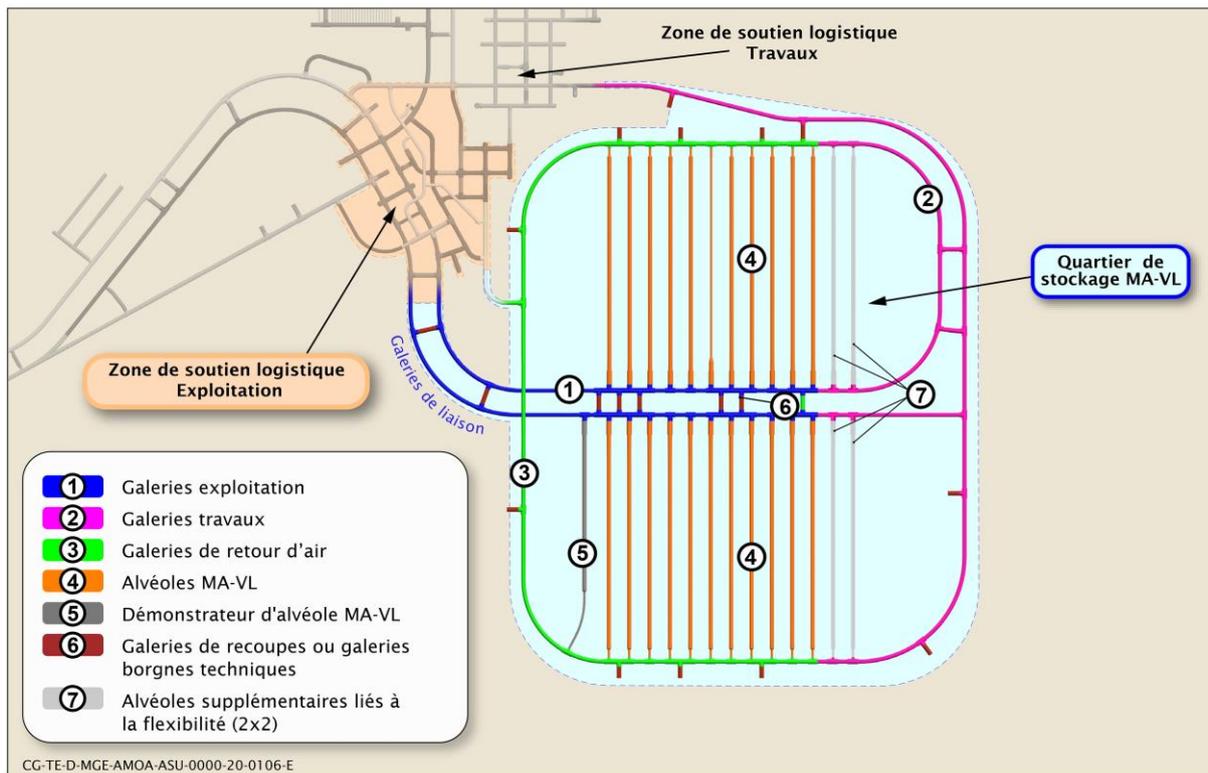


Figure 4-8 Illustration du quartier de stockage MA-VL à terminaison

25 optimisations sont envisagées, elles se répartissent en plusieurs catégories et sont détaillées dans les chapitres qui suivent :

- six optimisations de conception des alvéoles MA-VL (cf. Chapitre 4.2.2.1 du présent document) ;
- sept optimisations de modifications de conditionnement ou de stockage direct impactant le nombre d'alvéoles MA-VL (cf. Chapitres 3.3.1 et 4.2.2.2 du présent document) ;
- trois optimisations spécifiques à la gestion des déchets bitumés impactant le nombre d'alvéoles MA-VL (cf. Chapitres 3.3.4 et 4.2.2.3 du présent document) ;
- trois optimisations de conception du quartier et de taille de la boucle MA-VL (cf. Chapitre 4.2.2.4 du présent document) ;
- six optimisations communes aux ouvrages souterrains qui impactent les alvéoles MA-VL et les galeries (cf. Chapitre 4.2.2.4 du présent document).

Les optimisations associées à chaque configuration sont compatibles entre elles.

4.2.2.1 La conception des alvéoles de stockage MA-VL

Les alvéoles de stockage MA-VL sont des ouvrages en béton avec revêtement, d'une longueur utile maximale de stockage des colis de déchets d'environ 500 mètres. Ces alvéoles sont agencés en fonction de la nature et des dimensions des colis qu'ils accueillent.

Les alvéoles MA-VL sont ventilés de façon traversante et constitués :

- d'une galerie d'accès qui relie l'alvéole à la galerie de liaison d'exploitation et permet le transfert de la hotte contenant le colis de stockage vers la cellule de manutention ;
- d'une façade d'accostage qui sert d'interface entre la galerie d'accès et la cellule de manutention. Elle permet l'ouverture de la hotte et la récupération du colis de stockage ;
- d'une cellule de manutention permettant l'extraction du colis de stockage de la hotte et l'acheminement *via* un pont vers sa position dans la partie utile de l'alvéole de stockage ;
- d'une partie utile de stockage, correspondant à la longueur utile pour le stockage des colis prévus, et d'un diamètre utile de l'ordre de huit mètres ;
- d'une jonction de retour d'air située au fond de l'alvéole et rejoignant la galerie de retour d'air après filtration de l'air, d'une longueur de 30 m environ et d'un diamètre utile de l'ordre de 4 m.

Plusieurs optimisations de conception sont envisagées pour les alvéoles de stockage MA-VL. Elles sont listées dans le tableau 4-14 ci-dessous selon la configuration chiffrée dans laquelle elles sont considérées et sont de deux types :

- des modifications de la longueur et du dimensionnement des alvéoles, sans changer le concept porté dans le dossier en support à la demande d'autorisation de création (DAC) (32) ;
- des optimisations communes à l'ensemble des ouvrages souterrains permettant de réduire les coûts de construction (cf. Chapitre 4.2.1 du présent document).

Tableau 4-14 Liste des optimisations impactant la conception des alvéoles MA-VL selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Quartier MA-VL				
O-022	Adaptation des linéaires de creusement des alvéoles MA-VL	X	X	X
O-053	Adaptation au juste besoin des linéaires de galerie afin d'augmenter la zone utile de stockage des alvéoles MA-VL			X
O-112a	Adaptation de la conception des alvéoles MA-VL de CSD-C stockage direct : suppression du double rouleau sans modification du diamètre excavé	X	X	
O-112b	Adaptation de la conception des alvéoles MA-VL de CSD-C stockage direct : réduction du diamètre excavé			X
O-084	Adaptation des épaisseurs de radioprotection aux types de colis	X	X	X
O-165b	Développement de matériaux alternatifs autres que voussoir compressible VMC pour les alvéoles MA-VL accueillant des CSD-C et C1PG ^{SP}		X	X
Optimisations communes à l'ensemble des ouvrages souterrains				
O-128	Mise en œuvre d'une colonne à béton		X	X
O-047c	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 5 %	X		
O-047a	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 10 %		X	
O-047b	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 20 %			X
O-165a	Développement de matériaux alternatifs autres que voussoir compressible VMC (hors alvéoles thermiques)	X	X	X
O-227	Optimisations des volumes de béton et de ferrailage dans le génie civil secondaire	X	X	X

CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES À LA CONCEPTION DES ALVÉOLES MA-VL

- **configuration DAC**
 - ✓ les alvéoles de stockage MA-VL ont tous une longueur utile de 500 mètres ;
 - ✓ l'épaisseur des murs de radioprotection est standard à 1,2 m, sauf dans le cas des quatre premiers alvéoles pour lesquels l'épaisseur varie entre 0,85 m et 1,2 m.
- dans le cadre des **configurations 1, 2 et 3**, il est envisagé :
 - ✓ de limiter la longueur utile des alvéoles au regard des besoins de stockage liés à l'inventaire (optimisation O-022) et de réduire ainsi la longueur des alvéoles 6, 17, 18, 20 et 22 afin d'optimiser les coûts de creusement au tunnelier. En contrepartie, la jonction de retour d'air de diamètre moindre est allongée ;
 - ✓ d'adapter l'épaisseur des murs de radioprotection de fond d'alvéole à l'activité radiologique des colis affectés à chaque alvéole (optimisation O-084) : en première approche, il est considéré une épaisseur standard réduite à 1,1 m par analogie avec les alvéoles 1 et 3, sauf pour les alvéoles 8 (colis C1PG^{SP}) et 19 (colis CSD-C) qui conservent une épaisseur de mur de radioprotection de 1,2 m par analogie avec l'alvéole 2 (colis CSD-C) ;
 - ✓ de choisir le matériau compressible des voussoirs bicouches en intégrant d'autres critères comme la facilité de mise en œuvre et le coût de fourniture. Ce matériau compressible est mis sous forme d'une couche à l'extrados des voussoirs. Cette couche a pour fonction de permettre une optimisation de dimensionnement des voussoirs :
 - dans la configuration 1, l'optimisation consiste à retenir un coût intégrant l'ensemble des critères de choix (optimisation O-165a). Cette optimisation ne s'applique pas aux alvéoles contenant des colis thermiques comme les colis CSD-C et colis C1PG^{SP} : exclusion des alvéoles 2, 3, 8, 19, 21 et 22. En effet, les matériaux compressibles alternatifs envisagés à ce stade ont une conductivité thermique très inférieure à la conductivité requise pour ces familles de colis ;
 - dans les configurations 2 et 3 : l'optimisation (optimisation O-165b) du matériau compressible intègre aussi les critères de conductivité thermique spécifiés pour les alvéoles MA-VL stockant des colis thermiques. Le même coût de matériau compressible est retenu pour tous les alvéoles.
- plus spécifiquement pour les **configurations 1 et 2**, il est intégré :
 - ✓ le changement de la technique de construction du génie civil secondaire des alvéoles 2 et 19 dédiés au stockage direct des colis CSD-C. La technique dite du « double rouleau » retenue pour ces alvéoles (seulement deux niveaux de gerbage) est remplacée par le même principe technique que pour les autres alvéoles MA-VL. La voûte et le radier sont plus épais dans ce cas (optimisation O-112a).
- plus spécifiquement pour la **configuration 3**, il est également intégré :
 - ✓ l'adaptation au juste besoin du diamètre excavé de l'alvéole 19 afin d'éviter la mise en place d'un double rouleau (spécifique aux alvéoles de stockage des colis CSD-C en stockage direct) (optimisation O-112b au lieu de la variante O-112a). Cet alvéole serait alors creusé avec le tunnelier démontable pleine face prévu pour le creusement des galeries du quartier de stockage HA, avec une roue de coupe adaptable permettant de réduire le diamètre excavé ;
 - ✓ la suppression de la galerie d'accès et la réalisation de l'accostage directement au niveau de la galerie de liaison (optimisation O-053), dans le but d'allonger la longueur utile des alvéoles et de supprimer une partie des équipements de la galerie d'accès (voies de roulement). Dans le cadre de la progressivité, cette optimisation de longueur utile ne s'appliquerait qu'aux derniers alvéoles MA-VL construits.

Les optimisations communes à l'ensemble des ouvrages souterrains (optimisations O-128 et O-047a/b/c) ont également un impact sur les prix unitaires considérés pour les alvéoles MA-VL (cf. Chapitre 4.2.1 du présent document).

4.2.2.2 L'impact du stockage direct et du conditionnement sur le dimensionnement du quartier MA-VL

Le nombre d'alvéoles MA-VL dépend directement de l'inventaire de colis et de leur mode de stockage. En particulier, le stockage de colis primaires directement en alvéole de stockage permet de réduire le volume stocké.

Neuf optimisations concernent des modifications d'hypothèses de stockage direct ou de contraintes de co-stockage de colis et sont listées dans le tableau 4-15 selon la configuration chiffrée dans laquelle elles sont prises en compte.

Dans le cas de l'optimisation O-006, trois configurations de stockage direct alternatives sont envisagées en fonction des résultats des études de criticité, des caractéristiques de confinement des colis, de la tenue au gerbage des colis et de la définition d'un système de manutention adapté : un stockage d'une partie ou de l'ensemble des colis 500 L MI sur deux nappes avec ou sans panier au-dessus de conteneurs de type CS 2.

Tableau 4-15 *Liste des optimisations impactant le nombre d'alvéoles de stockage MA-VL selon les configurations 1, 2 et 3*

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-004	Stockage direct de 100 % des colis CSD-C (hors catégorie physico-chimique MA-VL 3), au lieu de 86 %	X	X	X
O-006e	Stockage direct de 70 % des colis 500 L MI : empilement des colis sur 2 nappes avec panier au-dessus des CS 2	X		
O-006c	Stockage direct des colis 500 L MI : empilement des colis sur 2 nappes avec panier au-dessus des CS 2		X	
O-006a	Stockage direct des colis 500 L MI : empilement des colis sur 2 nappes sans panier au-dessus des CS 2			X
O-007	Stockage direct de 83 % des colis 870 L, au lieu de 50 %	X	X	X
O-209a	Identification de nouvelles familles de colis éligibles au stockage direct : colis DIADEM MA-VL 5		X	X
O-209b	Identification de nouvelles familles de colis éligibles au stockage direct : colis DIADEM MA-VL 3			X
O-209c	Identification de nouvelles familles de colis éligibles au stockage direct : colis CEA-231, CEA-232 et CEA-1140			X
O-207	Suppression des paniers CS 26 et gerbage des colis 500 L FI les uns sur les autres			X

► CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX ALVÉOLES MA-VL IMPACTÉS PAR LE STOCKAGE DIRECT DE CERTAINS COLIS

Dans le cadre du chiffrage, les configurations suivantes sont considérées pour le nombre d'alvéoles de stockage du quartier MA-VL :

- **configuration DAC** : le quartier de stockage MA-VL est constitué de 25 alvéoles de stockage dans le cas d'un stockage de déchets bitumés en l'état ;
- **configurations 1, 2 et 3** :
 - ✓ l'augmentation du ratio de stockage direct¹¹ des colis 870 L permet la **suppression de l'alvéole 16**, les colis restants étant répartis entre les alvéoles 10 et 12 (optimisation O-007) ;
 - ✓ le stockage direct de 100 % des colis CSD-C¹² entraîne une modification du génie civil intérieur de l'alvéole 3 (optimisation O-004) ;
 - ✓ le stockage direct des colis 500 L MI avec un empilement sur deux nappes avec ou sans panier est sans impact sur la longueur utile des alvéoles 1 et 15 (optimisations O-006a/c/e).
- **configurations 2 et 3** :
 - ✓ le stockage direct des colis Diadem MA-VL 5 entraîne une modification de la longueur utile des alvéoles 3, 20 et 22, sans suppression d'alvéole (optimisation O-209a).
- **configuration 3** :
 - ✓ le stockage direct des colis Diadem MA-VL 3 entraîne une modification de la longueur utile des alvéoles 13 et 12¹³, sans suppression d'alvéole (optimisation O-209b) ;
 - ✓ le stockage direct des colis CEA-231, CEA-232 et CEA-1140 entraîne une modification du système de manutention des colis des alvéoles 14 et 18 (optimisation O-209c) ;
 - ✓ le stockage sans panier des colis 500 L FI entraîne une modification du système de manutention des colis de l'alvéole 6 (optimisation O-207).

4.2.2.3 Les alvéoles MA-VL dédiés aux colis de déchets bitumés

Faisant suite à l'avis de l'ASN portant sur le stockage des déchets bitumés à l'issue de l'instruction du dossier d'options de sûreté déposé en 2016, l'Andra a présenté dans le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (18), et chiffré dans le dossier de chiffrage deux voies de gestion pour le stockage des déchets bitumés, sans préjuger d'une voie préférentiellement à une autre :

- un stockage de colis de déchets issus d'un traitement visant la neutralisation des déchets bitumés ;
- un stockage en l'état de colis de déchets bitumés (sans traitement préalable) mis dans des conteneurs en béton renforcés vis-à-vis de l'incendie, avant leur transfert et leur mise en stockage dans des alvéoles dédiés.

Dans le cas particulier **du stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs de stockage renforcés vis-à-vis du risque incendie**, les adaptations suivantes sont prévues dans le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (33) dans les alvéoles dédiés à ces colis :

- pour répondre au scénario extrême postulant l'emballage d'un colis de déchets bitumés stocké en conteneur renforcé vis-à-vis du risque incendie, la 3^e nappe de stockage est laissée libre jusqu'à la décision de fermeture de façon à permettre un retrait rapide de n'importe quel colis de stockage avec un levage par le dessus. La 3^e nappe est alors comblée par des blocs de remplissage pour répondre à l'exigence de taux de vide.

¹¹ Le stockage direct de 83 % des colis 870 L constitue à date un optimum économique grâce à la suppression d'un alvéole MA-VL. L'augmentation du ratio au-delà de 83 % des colis ne permet pas de supprimer cet alvéole à cause des contraintes liées au co-stockage avec les familles de colis situées dans l'alvéole 12.

¹² On notera que les quelques colis CSD-C qui ne répondraient pas aux spécifications lors des contrôles pourront être stockés en conteneur CS 2 en co-stockage dans le même alvéole.

¹³ Dans le cas de la configuration 3, l'alvéole 12 a la capacité d'accueillir à la fois les colis provenant de l'alvéole 16 supprimé (optimisation O-007) et les colis Diadem en stockage direct issus de l'alvéole 13 (optimisation O-209b).

- Les équipements suivants sont modifiés ou ajoutés dans les alvéoles de stockage des déchets bitumés :
 - ✓ transformation du pont stockeur en un pont polyvalent intégrant :
 - un système de contrôle visuel par caméras et de mesure de température par caméras thermiques infrarouges (IR) et endoscope pouvant permettre de déterminer avec précision quel conteneur est sujet à échauffement (système de levée de doute) ;
 - un système de levage par le dessus par un système de câbles auquel est accroché un palonnier avec quatre griffes sphériques permettant de prendre le conteneur par quatre vis de maintien du couvercle, pour permettre un retrait rapide de n'importe quel conteneur (tout en restant compatible avec la manutention par fourche pour la mise place des faux colis en 3^e nappe) ;
 - un système d'auto-extinction embarqué, déclenché en cas d'incendie du pont ;
 - un dispositif d'aspersion de conteneur utilisable en cas d'échauffement d'un conteneur ;
 - l'ajout d'un robot d'intervention (robot pompier) suspendu à un rail dédié et équipé de caméras de contrôle visuel et thermique et d'une lance incendie.
 - ✓ intégration d'un robot d'inspection, pour des contrôles post-accident ;
 - ✓ l'encombrement en hauteur du pont polyvalent étant supérieur à celui du pont stockeur, le mur de radioprotection et l'écran de radioprotection sont modifiés en conséquence. L'écran de radioprotection est également modifié pour permettre le passage du robot d'intervention ;
 - ✓ ajout d'un réseau de surveillance par fibres optiques (six fibres) permettant la mesure en continu des températures des colis ;
 - ✓ ajout d'un réseau d'alimentation en eau connecté au réseau d'extinction incendie de la zone exploitation MA-VL et d'un réseau de récupération des effluents permettant un recyclage dans le cas d'une aspersion en continu (robot d'intervention et rampe d'aspersion en tête d'alvéole). Le réseau est différent selon qu'il s'agit d'un alvéole nord (écoulement des eaux vers une cuve située en jonction de retour d'air avec relevage vers la cellule de manutention) ou d'un alvéole sud (écoulement des eaux vers la fosse située en cellule de manutention).

Trois optimisations concernent des modifications d'hypothèses de stockage des colis de déchets bitumés et sont listées dans le tableau 4-15 selon les configurations 1, 2 et 3. Les optimisations O-118 et O-251 s'appuient toutes les deux sur le retour d'expérience de l'exploitation pour réduire le nombre d'alvéoles de stockage dédiés aux colis de déchets bitumés. Elles sont incompatibles et ne sont pas retenues dans la même configuration.

Tableau 4-16 Liste des optimisations impactant le nombre d'alvéoles de stockage des déchets bitumés selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Quartier MA-VL				
O-118	Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie : suppression du 8 ^e alvéole de déchets bitumés		X	
O-251	Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie : réduction du nombre d'alvéoles de déchets bitumés par levée du risque incendie, permettant de stocker sur trois nappes			X
O-191b	Stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés : Stockage direct des colis et co-stockage permettant de supprimer deux alvéoles	X	X	X

Le tableau ci-après synthétise les données et hypothèses retenues pour le chiffrage de chacune des deux voies en termes de nombre d'alvéoles.

Tableau 4-17 Hypothèses et nombre d'alvéoles de stockage des déchets bitumés considérés en fonction des configurations chiffrées et de la voie de gestion des déchets bitumés

Type d'alvéole	Configuration DAC	Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Cas du stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés	Alvéoles MA-VL « classiques »	3 alvéoles	1 alvéole	1 alvéole
Cas du stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie	Alvéoles dédiés uniquement à ces colis	8 alvéoles	8 alvéoles	5 alvéoles

► CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX ALVÉOLES DÉDIÉS AUX COLIS DE DÉCHETS BITUMÉS

Dans le cadre du chiffrage, les configurations suivantes sont considérées :

- **cas du stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés :**
 - ✓ **configuration DAC** : les colis primaires issus du traitement des déchets bitumés sont vitrifiés et sont stockés dans des conteneurs CS 2.2 dans 3 alvéoles MA-VL « classiques », le troisième alvéole étant faiblement rempli (181 mètres de longueur utile) ;
 - ✓ **configurations 1, 2 et 3** : les colis primaires issus du traitement des déchets bitumés sont stockés dans des paniers CS 22 dans un alvéole MA-VL, avec un co-stockage du reliquat de colis de déchets bitumés retraités avec d'autres colis MA-VL dans un alvéole existant (optimisation O-191b).
- **cas du stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie :**
 - ✓ **pour l'ensemble des configurations**, les colis primaires de déchets bitumés sont stockés dans des conteneurs de stockage renforcés vis-à-vis de l'incendie dans des alvéoles dédiés uniquement à ces colis ;
 - ✓ **configuration DAC et configuration 1** : les colis sont stockés sur deux nappes, au sein de huit alvéoles ;
 - ✓ **configuration 2** : les colis sont stockés sur deux nappes, au sein de sept alvéoles, à l'exception de 2 % des colis (environ 860 colis réceptionnés en dernier) exceptionnellement stockés en troisième nappe des autres alvéoles de stockage de déchets bitumés sur la base du retour d'expérience des colis déjà stockés (optimisation O-118) ;
 - ✓ **configuration 3** : sur la base d'une hypothèse de levée du risque incendie portant sur les colis de déchets bitumés (fondée sur les résultats des études complémentaires de caractérisation des enrobés bitumés en termes de réactivité thermique, post-dossier d'options de sûreté, notamment (19)), les colis sont considérés comme pouvant être stockés sur trois nappes au sein de cinq alvéoles (optimisation O-251).

4.2.2.4 Le dimensionnement de la boucle MA-VL

La localisation des galeries de liaison, galeries travaux, galeries de retour d'air et galeries de recoupes est représentée sur la figure 4-8 (illustration du quartier à terminaison, c'est-à-dire lorsque tous les alvéoles ont été mis en service). Les galeries travaux et de retour d'air présentent une section similaire à celle des galeries exploitation.

Les galeries de liaison en exploitation ont une section utile permettant :

- le passage de tous les types de hottes de transfert MA-VL chargées sur leur chariot ;
- le passage pour un véhicule d'intervention ;
- le passage des réseaux : les réseaux de ventilation (en pleine section pour le soufflage, en voûte pour l'extraction de l'air vicié), les réseaux électriques (courants forts (CFO) et courants faibles industriels (CFI)) et le réseau d'eau incendie en charge.

Les galeries travaux permettent le passage des engins de travaux et l'intégration de l'ensemble des réseaux et équipements nécessaires aux opérations de construction des alvéoles MA-VL.

Les galeries de retour d'air sont connectées à la jonction de retour d'air au fond des alvéoles MA-VL et permettent d'acheminer l'air extrait des alvéoles MA-VL vers le puits VVE. Ces galeries sont également conçues pour accueillir la circulation du personnel et les équipements en vue des opérations de maintenance.

Les recoupes entre galeries permettent notamment d'assurer les fonctions d'évacuation du personnel et d'intervention d'un véhicule de maintenance ou de secours. Elles accueillent aussi des locaux techniques ainsi que des réseaux d'utilités.

Outre les contraintes d'évacuation, le positionnement des recoupes tient compte, d'une part, des phases de déploiement des alvéoles et, d'autre part, des contraintes liées au phasage de basculement d'un bloc d'alvéoles de la zone travaux à la zone en exploitation. Pour chaque phase de déploiement des alvéoles, le principe retenu consiste à disposer d'une recoupe courant faible en début de tranche à déployer et d'une recoupe courant fort en extrémité de tranche à déployer. Dans ce cadre et compte tenu des trois alvéoles supplémentaires dans le cas du **stockage de colis de déchets bitumés en l'état**, une recoupe est ajoutée avant l'alvéole 26.

Le quartier MA-VL est conçu pour accepter jusqu'à 26 alvéoles au total, permettant de construire des alvéoles MA-VL supplémentaires en cas d'accroissement du volume de colis à stocker résultant, par exemple, du changement de mode de stockage de certains colis primaires. Dans le cas du **stockage de colis de déchets bitumés en l'état**, la flexibilité pour couvrir le risque associé à la solution de stockage direct est ramenée à un seul alvéole (l'alvéole 25).

Le tableau ci-après synthétise les données et hypothèses retenues pour le chiffrage en termes de nombre d'alvéoles. Le nombre total d'alvéoles MA-VL tient compte des suppressions d'alvéoles liées aux optimisations sur le stockage direct présentées dans le chapitre 4.2.2.2 du présent document et à celles liées aux optimisations sur les alvéoles de stockage des déchets bitumés présentées dans le chapitre 4.2.2.3 du présent document.

Tableau 4-18 *Nombre total d'alvéoles considérés à l'intérieur de la boucle MA-VL et nombre de galeries de recoupes en fonction des configurations chiffrées*

Nombre d'alvéoles MA-VL à l'intérieur de la boucle et de galeries de recoupes	Configuration DAC	Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Cas du stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés	20 alvéoles 8 recoupes	17 alvéoles 7 recoupes	17 alvéoles 7 recoupes	17 alvéoles 7 recoupes
Cas du stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie	25 alvéoles 9 recoupes	24 alvéoles 9 recoupes	23 alvéoles 8 recoupes	21 alvéoles 7 recoupes

Plusieurs optimisations de conception sont envisagées au niveau des galeries du quartier MA-VL. Elles sont listées dans le tableau 4-19 ci-dessous selon la configuration chiffrée dans laquelle elles sont considérées :

- une optimisation du nombre de galeries de recoupes en tirant bénéfice de l'espace disponible dans le démonstrateur MA-VL pour y loger les équipements CFI/CFO issus d'une recoupe ;
- deux modifications de la longueur des galeries MA-VL en fonction du nombre d'alvéoles MA-VL prévus (cf. Tableau 4-18) considérée uniquement dans le cadre de la configuration 3, la mise en œuvre de cette optimisation impliquant de définir la taille du quartier MA-VL dès la construction en tranche 1 ; l'ajout d'un second quartier de stockage à l'est de la boucle MA-VL sera éventuellement nécessaire pour répondre à des évolutions d'inventaire, de conditionnement, d'ordonnancement ou de mode de stockage de colis primaires ;
- des optimisations communes à l'ensemble des ouvrages souterrains permettant de réduire les coûts de construction (cf. Chapitre 4.2.1 du présent document).

Tableau 4-19 Liste des optimisations impactant la conception des galeries MA-VL selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Quartier MA-VL				
O-149	Optimisation de l'utilisation du démonstrateur MA-VL : déplacement des équipements de la recoupe CFI		X	X
O-175	Réduction de la boucle MA-VL par levée des risques mitigés « stockage direct »			X
O-117	Stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés : réduction de la boucle MA-VL par levée des risques mitigés « bitumes »			X
Optimisations communes à l'ensemble des ouvrages souterrains				
O-128	Mise en œuvre d'une colonne à béton		X	X
O-047c	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 5 %	X		
O-047a	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 10 %		X	
O-047b	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 20 %			X
O-165a	Développement de matériaux alternatifs autre que voussoir compressible VMC (hors alvéoles thermiques)	X	X	X
O-227	Optimisations des volumes de béton et de ferrailage dans le génie civil secondaire	X	X	X
O-228	Platelages des voies de roulement réalisés en éléments préfabriqués en béton		X	X

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AU DIMENSIONNEMENT DU QUARTIER MA-VL

- **configuration DAC et configuration 1**
 - ✓ le quartier MA-VL est conçu pour accepter jusqu'à 26 alvéoles au total avec huit à neuf galeries de recoupes selon la voie de gestion pour le stockage des déchets bitumés.
- **configurations 2 et 3**
 - ✓ suppression d'une galerie de recoupe en déplaçant les équipements CFI/CFO dans la galerie d'accès du démonstrateur MA-VL (optimisation O-149).
- **configuration 3**
 - ✓ longueurs des galeries du quartier MA-VL adaptées au juste besoin en fonction du nombre d'alvéoles MA-VL à desservir (optimisations O-117 et O-175).

Les optimisations communes à l'ensemble des ouvrages souterrains ont également un impact sur les prix unitaires considérés pour les galeries MA-VL (cf. Chapitre 4.2.1 du présent document).

4.2.3 Le quartier pilote HA

Prévu d'être réalisé dans le cadre de la phase industrielle pilote, le quartier pilote HA est destiné au stockage de premiers colis de déchets vitrifiés HA, notamment les colis peu exothermiques dénommés « HA0 ».

Situé au nord de la zone de soutien logistique exploitation, il est composé de plusieurs types d'ouvrages, répondant aux besoins de l'activité de stockage :

- les galeries de liaison exploitation ;
- les recoupes techniques entre les galeries de liaison ;
- la galerie d'évacuation et de secours ;
- la galerie d'accès aux alvéoles ;
- les alvéoles de stockage des colis ;
- un « démonstrateur » de fermeture d'alvéole HA ;
- les alvéoles témoins.

Les galeries de liaison assurent la desserte de ce quartier. La galerie d'évacuation et de secours permet l'évacuation si nécessaire, vers la zone de soutien logistique en parallèle de la galerie de liaison exploitation. La galerie d'accès permet de rejoindre les alvéoles depuis la galerie de liaison.

Le quartier pilote HA comporte jusqu'à une vingtaine d'alvéoles de stockage¹⁴ d'environ 80 mètres de long, un alvéole « démonstrateur » de fermeture et trois alvéoles témoins ne contenant pas de colis de déchets radioactifs.

¹⁴ Sans préjuger de développements ultérieurs intégrés dans le cadre du déploiement progressif du stockage

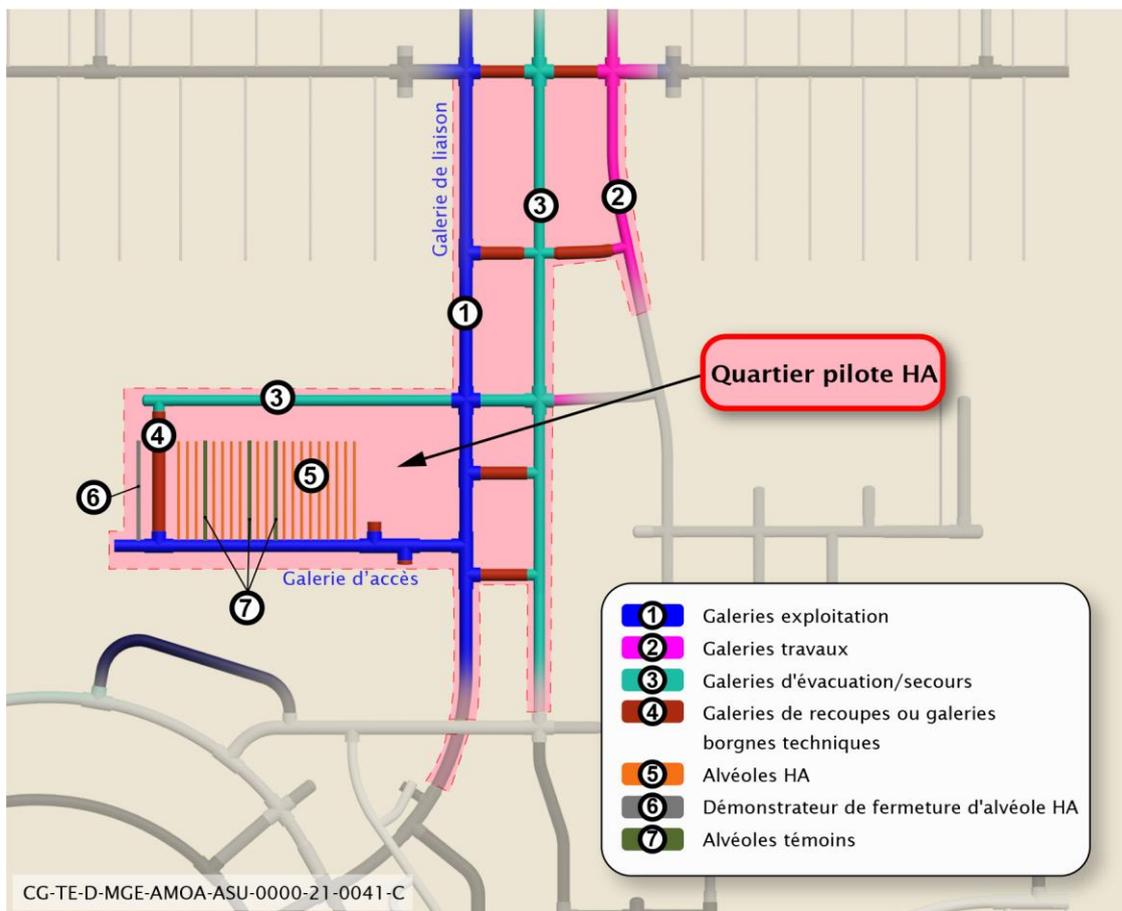


Figure 4-9 Illustration du quartier pilote HA

► CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AU QUARTIER PILOTE HA

Pour l'ensemble des configurations, **18 alvéoles de stockage** sont chiffrées pour le quartier pilote HA sur la base du nombre de colis HA0 prévus dans l'inventaire de l'IN 2018.

4.2.4 Le quartier de stockage des colis HA

Le quartier de stockage HA est destiné au stockage des déchets vitrifiés à l'horizon 2080.

La zone de stockage des colis HA est conçue pour stocker un total d'environ 55 000 colis primaires (essentiellement des colis HA1/HA2¹⁵, auxquels pourront s'ajouter quelques colis HA0 ainsi que des colis MA-VL de déchets vitrifiés placés dans les espaces intercalaires entre colis HA).

Il est composé de plusieurs types d'ouvrages, répondant aux besoins de l'activité de stockage :

- les galeries de liaison d'exploitation, travaux et évacuation/secours ;
- les galeries d'accès ;
- les alvéoles de stockage ;
- les recoupes entre les galeries de liaison et entre les galeries d'accès ;
- les alvéoles témoins.

La galerie de liaison d'exploitation assure la desserte de ce quartier.

¹⁵ Les catégories HA1 et HA2 regroupent les colis de déchets HA fortement exothermiques à la mise en stockage

Le quartier de stockage HA comporte des alvéoles de stockage, regroupés en quatre sous-quartiers. Il comporte environ un millier d'alvéoles de stockage HA et des alvéoles témoins.

Les alvéoles sont équipés d'un dispositif actif de prélèvement de l'atmosphère interne de l'alvéole et d'inertage par balayage à l'azote afin de permettre la surveillance de l'atmosphère et de garantir le maintien de conditions non explosives et peu oxydantes. Le prélèvement de l'atmosphère interne de l'alvéole HA et le balayage sont réalisés au moyen d'un dispositif amovible placé à l'intrados du chemisage, constitué d'un tube métallique souple. Après sa mise en place, le tube est laissé à demeure mais peut être remplacé en cas de dégradation (système d'inertage amovible).

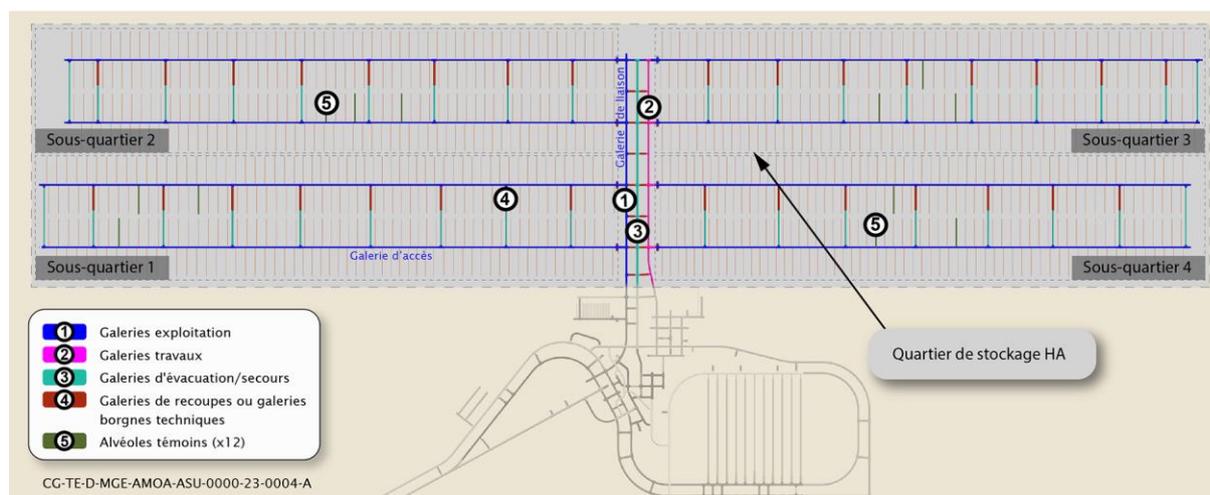


Figure 4-10 Illustration du quartier de stockage HA à terminaison

Plusieurs optimisations de conception sont envisagées pour le quartier de stockage HA. Compte tenu de la temporalité de construction du quartier de stockage HA mis en service à l'horizon 2080, leur mise en œuvre s'appuiera notamment sur le retour d'expérience de la construction et de l'exploitation du quartier pilote HA, d'une meilleure connaissance des colis HA et elles bénéficieront des avancées technologiques futures. Elles sont listées dans le tableau 4-20 ci-dessous selon la configuration chiffrée dans laquelle elles sont considérées et sont de trois types :

- des optimisations de construction et de dimensionnement des alvéoles, galeries et recoupes HA, sans changer le concept porté dans le dossier en support à la demande d'autorisation de création (DAC) ;
- des modifications de la chronique de livraison des colis HA permettant une diminution des puissances thermiques des colis et ainsi une réduction de l'emprise du quartier ;
- des optimisations communes à l'ensemble des ouvrages souterrains.

Tableau 4-20 Liste des optimisations impactant le chiffrage du quartier de stockage HA selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Optimisations de construction et de dimensionnement des alvéoles, galeries et recoupes HA				
O-210a	Diminution du linéaire de galerie d'accès du quartier de stockage HA par l'augmentation de la longueur des alvéoles à 180 m	X		
O-210c	Diminution du linéaire de galerie d'accès du quartier de stockage HA par l'augmentation de la longueur des alvéoles à 180 m et allongement des alvéoles de bord à 300 m		X	X
O-052	Optimisation du diamètre utile des recoupes E/S- LTE CFO/CFI entre galeries d'accès du quartier de stockage HA	X	X	X
O-179	Creusement des galeries d'accès au tunnelier pleine face		X	X
O-054a	Optimisation THM (loi de comportement) du chargement des alvéoles HA : réduction de 5 % de l'entraxe entre alvéoles	X		
O-054b	Optimisation THM (loi de comportement) du chargement des alvéoles HA : réduction de 15 % de l'entraxe entre alvéoles		X	
O-054c	Optimisation THM (loi de comportement) du chargement des alvéoles HA : réduction de 20 % de l'entraxe entre alvéoles			X
O-261	Système d'inertage mobile		X	X
Compactage de la chronique HA				
O-234	Compactage de la chronique HA en retardant de huit ans l'arrivée du premier colis HA			X
Optimisations communes à l'ensemble des ouvrages souterrains				
O-047c	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 5 %	X		
O-047a	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 10 %		X	
O-047b	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 20 %			X
O-165a	Développement de matériaux alternatifs autre que voussoir compressible VMC (hors alvéoles thermiques)	X	X	X
O-227	Optimisations des volumes de béton et de ferrailage dans le génie civil secondaire	X	X	X
O-228	Platelages des voies de roulement réalisés en éléments préfabriqués en béton		X	X
O-128	Mise en œuvre d'une colonne à béton		X	X

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AU QUARTIER DE STOCKAGE DES COLIS HA

Le tableau 4-21 détaille le nombre d'alvéoles et linéaires de galeries pour le quartier de stockage HA considérés pour le chiffrage de chaque configuration. Les quantitatifs pour la **configuration DAC** sont basés sur les plans d'architecture à terminaison illustrative issus des études d'avant-projet détaillé. Les quantitatifs pour les configurations 1, 2 et 3 ont été estimés en première approche en recalculant d'abord le nombre d'alvéoles au *prorata* des longueurs supplémentaires puis les linéaires de galeries au *prorata* du nombre d'alvéoles et enfin en appliquant des ratios de réduction d'entraxes.

Les longueurs de galeries d'accès considérées pour chaque configuration sont influencées par différents paramètres :

- le nombre d'alvéoles décroissant permis par l'allongement des alvéoles à 180 m et 300 m suite aux expérimentations de constructibilité prévues notamment au Laboratoire souterrain (optimisations O-210a/c) ;
- les **configurations 1, 2 et 3** tiennent compte d'hypothèses thermo-hydro-mécaniques (THM) (par exemple : coefficient de Biot, module d'Young, perméabilité, coefficient de dilatation différentiel, et de manière générale lois de comportement et de transfert) qui permettraient une réduction d'emprise du quartier de stockage HA (se traduisant de façon forfaitaire par une réduction d'entraxe entre alvéoles de 5 %, 15 % ou 20 %) (optimisations O-054a/b/c) ;
- la **configuration 3** tient compte d'un compactage de la chronique HA de huit ans qui conduit à une modification du nombre d'alvéoles (optimisation O-234).

Il est à noter que l'optimisation O-210 (variantes a et c) a un impact sur le dimensionnement du bâtiment EP2 en surface (cf. Chapitre 4.1.1.2.4 du présent document).

En outre, pour les **configurations 1, 2 et 3**, une optimisation du diamètre des recoupes est considérée (optimisation O-052).

Pour les **configurations 2 et 3**, le système d'inertage amovible à demeure est remplacé par un système d'inertage mobile mutualisé entre les alvéoles, sous réserve d'une bonne étanchéité du chemisage emboîté (sur la base du retour d'expérience du quartier pilote HA) (optimisation O-261).

Les optimisations communes à l'ensemble des ouvrages souterrains ont également un impact sur les prix unitaires considérés pour le quartier de stockage HA (cf. Chapitre 4.2.1 du présent document).

Tableau 4-21 Caractéristiques du quartier de stockage HA considérées pour le chiffrage en fonction de la configuration chiffrée

		Configuration DAC	Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Sous-quartier HA1.1	Nombre d'alvéoles de stockage	242	203	153	130
	Linéaire de galerie d'accès	6 289 ml	5 163 ml	3 501 ml	3 083 ml
Sous-quartier HA1.2	Nombre d'alvéoles de stockage	231	193	146	134
	Linéaire de galerie d'accès	6 015 ml	4 925 ml	3 353 ml	3 014 ml
Sous-quartier HA2.1	Nombre d'alvéoles de stockage	215	180	136	138
	Linéaire de galerie d'accès	5 928 ml	4 865 ml	3 307 ml	3 148 ml
Sous-quartier HA2.2	Nombre d'alvéoles de stockage	240	201	152	158
	Linéaire de galerie d'accès	5 806 ml	4 772 ml	3 249 ml	3 171 ml
TOTAL Quartier de stockage HA	Nombre d'alvéoles de stockage	928	777	587	560
	Longueur des alvéoles	150 m	180 m	180 m/300 m	180 m/300 m
	Linéaire de galerie d'accès	24 039 ml	19 725 ml	13 411 ml	12 415 ml
	Méthode de creusement des galeries d'accès	Tunnelier à attaque ponctuelle		Tunnelier démontable pleine-face	

4.2.5 Les démonstrateurs et les ouvrages témoins

La progressivité du développement de l'installation nucléaire du centre de stockage Cigéo se traduit par la réalisation d'ouvrages qui participent à apporter des éléments soit de vérification de la démonstration de la constructibilité ou du fonctionnement de composants ouvragés (*i.e.* Les démonstrateurs) soit de confortation de l'évolution des composants ouvragés telle qu'attendue (*i.e.* Les ouvrages témoins).

- les démonstrateurs de constructibilité et de fonctionnement : non destinés à recevoir des colis de déchets, ils permettront de valider les modalités de réalisation, d'exploitation et de surveillance des alvéoles industriels qui seront construits ensuite. Ils sont au nombre de trois, et consistent en (cf. Figure 4-11) :
 - ✓ un démonstrateur d'alvéole MA-VL dans le quartier de stockage MA-VL ;
 - ✓ un démonstrateur de fermeture d'alvéole HA dans le quartier pilote HA ;
 - ✓ un démonstrateur d'alvéole HA de 150 mètres, en vue de la construction du quartier de stockage HA, dans la zone de soutien logistique travaux.

À ce stade, le démonstrateur d'alvéole MA-VL est un démonstrateur de constructibilité de l'ouvrage. Il a pour objet d'apporter des compléments de justification de la constructibilité d'une géométrie d'alvéole MA-VL concernant en particulier les éléments non accessibles au Laboratoire de recherche souterrain du Centre de Meuse/Haute-Marne en termes de mise en œuvre industrielle (*i.e.* Méthode de creusement, conditions de travaux, cadences, etc.) et, dans une moindre mesure, de dimensions.

- les démonstrateurs de scellement : ils permettent de disposer, au moment de la fermeture définitive de l'installation, d'un retour d'expérience quant à la construction de ce type d'ouvrage et en ce sens facilitent la fermeture. Ils consistent en :
 - ✓ un démonstrateur de scellement de descenderie ;
 - ✓ un démonstrateur de scellement de galerie dans la zone de soutien logistique travaux. Cette zone doit permettre de réaliser, outre le scellement de galerie, les autres éléments de démonstration associés aux ouvrages de fermeture : remblai, coupure hydraulique éventuelle.

La localisation des différents démonstrateurs est donnée sur la figure ci-dessous. Ils sont réalisés dès la tranche 1.

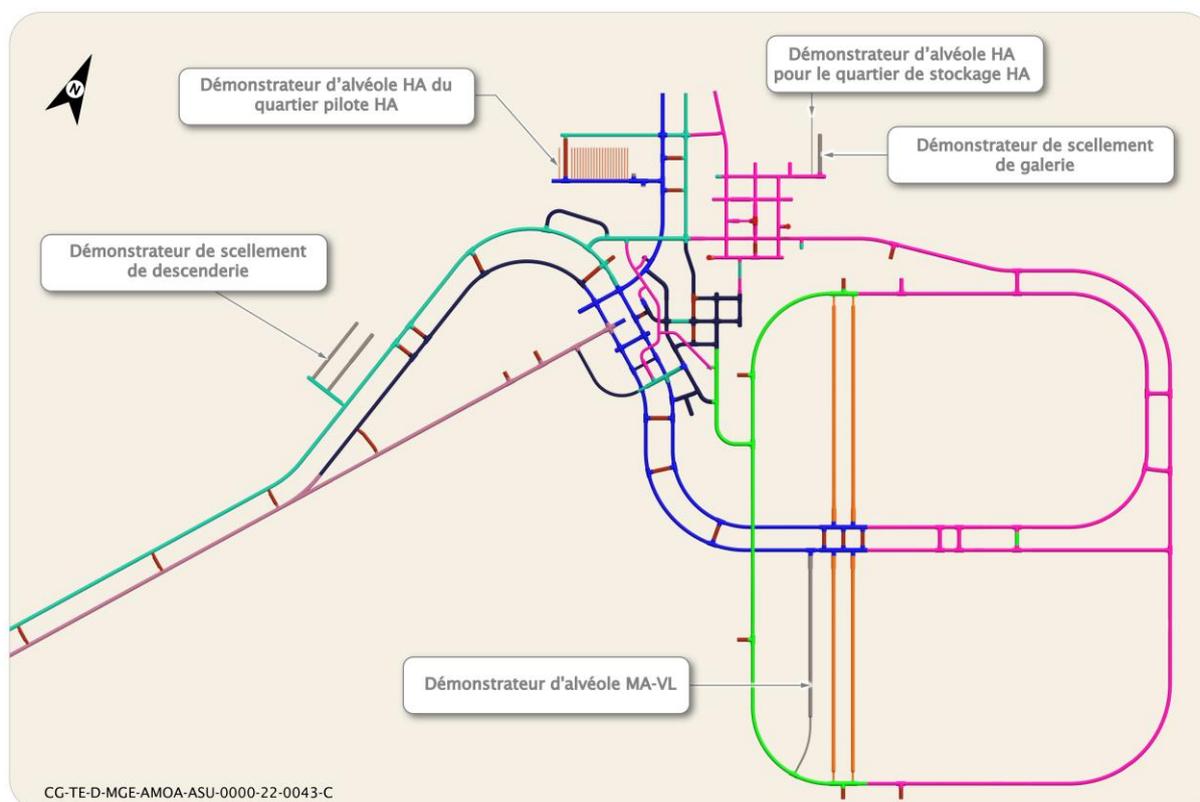


Figure 4-11 Illustration de l'implantation dans l'architecture souterraine des démonstrateurs réalisés dès la tranche 1

- ✓ les ouvrages témoins : les alvéoles témoins HA sont des ouvrages de conception identique aux alvéoles de stockage dont ils sont témoins (inactifs) et évoluent dans des conditions représentatives de ceux dans lesquels évoluent ces ouvrages courants au regard des processus qu'ils permettent de surveiller (*e.g.* même environnement thermique, etc.). Ainsi, leur fonctionnement et leur comportement sont représentatifs du fonctionnement et du comportement des alvéoles de stockage. La surveillance du fonctionnement et du comportement des alvéoles témoins permettant d'en caractériser l'évolution est transposable à l'ensemble des ouvrages de stockage de même type.

Tableau 4-22 Liste des optimisations concernant les démonstrateurs

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-149	Optimisation de l'utilisation du démonstrateur MA-VL : déplacement des équipements de la recoupe CFI		X	X

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX DÉMONSTRATEURS

Dans le cadre des **configurations 2 et 3**, il est envisagé de réutiliser la galerie d'accès du démonstrateur MA-VL en remplacement d'une galerie de recoupe du quartier MA-VL en y déplaçant les équipements CFI/CFO (optimisation O-149).

4.2.6 La stratégie de démantèlement et de fermeture

Avant le début des étapes de fermeture d'un alvéole de stockage MA-VL ou d'un alvéole de stockage HA, des opérations préalables sont menées. Pour l'alvéole de stockage MA-VL, un mur de radioprotection composé d'un ensemble de blocs de radioprotection préfabriqués est mis en place par couche au fur et à mesure du remplissage des couches de colis dans l'alvéole. Une fois l'alvéole de stockage MA-VL rempli, les équipements d'alvéole MA-VL qui ne nécessitent pas de maintenance sont mis en veille en attendant le début de la fermeture.

Pour l'alvéole HA, un bouchon de fermeture (constitué de conteneurs de fermeture) assurant également une fonction de radioprotection est mis en place en tête d'alvéole entre la bride et les colis de stockage, dès la fin du remplissage de l'alvéole.

Une fois les opérations préalables réalisées, les étapes de fermeture prévues peuvent être résumées de la façon suivante :

- étape 1 : obturation de l'alvéole, ce qui l'isole de sa galerie d'accès ;
- étape 2 : fermeture de la galerie d'accès à l'alvéole ;
- étape 3 : fermeture des galeries de liaison ;
- étape 4 : fermeture des zones de soutien logistique et des liaisons surface-fond. À la fin de cette étape, le stockage est fermé.

Le scénario prévisionnel de fermeture proposé et chiffré par l'Andra à ce stade comprend l'obturation des alvéoles de stockage à la fin du remplissage de chaque quartier.

Dans le cadre des opérations de démantèlement et de fermeture, une optimisation est envisagée et est prise en compte dans le chiffrage des configurations 1, 2 ou 3 (cf. Tableau 4-23).

Le planning de démantèlement et de fermeture est de plus impacté par sept optimisations, soit par la suppression de certaines opérations de démantèlement ou de fermeture (optimisations O-230, O-091, O-181), soit en modifiant le linéaire au fond et donc le volume d'ouvrages à remblayer (optimisations O-114, O-054, O-210, O-234).

Tableau 4-23 Liste des optimisations concernant les opérations de démantèlement et de fermeture selon la configuration chiffrée

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Opérations de démantèlement				
O-230	Limitation de la déconstruction des installations en fond		X	X
Impact sur le planning de démantèlement et de fermeture				
O-091	Suppression de trois scellements en galeries de liaison HA isolant hydrauliquement le quartier de stockage HA du quartier pilote HA		X	X
O-181	Suppression des massifs d'appui des scellements horizontaux		X	X
O-114	Optimisation de la ZSL Exploitation : linéarisation de l'architecture en lien avec la remontée des groupes froids en surface		X	X
O-054 a/b/c	Optimisation THM (loi de comportement) du chargement des alvéoles HA : réduction de 5 % à 20% de l'entraxe entre alvéoles	X	X	X
O-210a/c	Diminution du linéaire de galerie d'accès du quartier de stockage HA par l'augmentation de la longueur des alvéoles	X	X	X
O-234	Compactage de la chronique HA en retardant de 8 ans l'arrivée du premier colis HA			X

► CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES À LA STRATÉGIE DE DÉMANTÈLEMENT

Dans le cadre du chiffrage, les configurations suivantes sont considérées pour le démantèlement des installations au fond :

- **configuration DAC et la configuration 1** : sont démantelés l'ensemble des équipements travaux présents dans les galeries travaux et recoupes associées, et l'ensemble des équipements d'exploitation présents dans les galeries et recoupes par tronçons successifs ;
- **configurations 2 et 3** : les matériels qui peuvent rester au fond sans impacter les opérations de remblayage, notamment les rails, longrines, câbles, chemins de câbles, tuyaux ne sont pas démantelés (optimisation O-230), tout en respectant la démonstration de sûreté en après-fermeture concernant les transitoires hydraulique-gaz.

4.2.7 Les ouvrages de fermeture

Pour garantir la mise en sécurité des déchets stockés sur de très longues périodes, les ouvrages souterrains devront être refermés. Cette fermeture se réalisera de façon progressive, selon un processus d'autorisation spécifique.

Comme l'ensemble des différents composants de l'installation, le développement des ouvrages de fermeture suit un développement progressif aboutissant pour ce qui concerne ces ouvrages à leur mise en place à la suite de l'obtention de l'autorisation de fermeture. Deux grands types d'ouvrages sont étudiés dès le début de la conception :

- **les remblais** : le remblayage de toutes les galeries est réalisé en utilisant les déblais des argilites excavées au moment du creusement et entreposés en surface dans la zone puits, dénommés « verses vives » et au besoin additionnés de matériaux destinés à en ajuster les propriétés ;
- **les scellements** : plusieurs scellements sont positionnés pour certains, dans les liaisons surface-fond, à proximité du toit de la couche du Callovo-Oxfordien (scellements verticaux de puits et de scellements inclinés de descenderies), pour d'autres, dans des galeries de liaison (scellements horizontaux de galeries).

Le principe de fonctionnement du scellement est identique que l'on considère un scellement de galerie horizontale, un scellement de puits ou un scellement de descenderie. Il consiste en la mise en place d'un noyau constitué d'argile gonflante (bentonite), au besoin additionnée de matériaux destinés à en ajuster les propriétés (densité, pression de gonflement, pression d'entrée de gaz), faciliter sa fabrication (poudre, pellets, briques) ou sa mise en place.

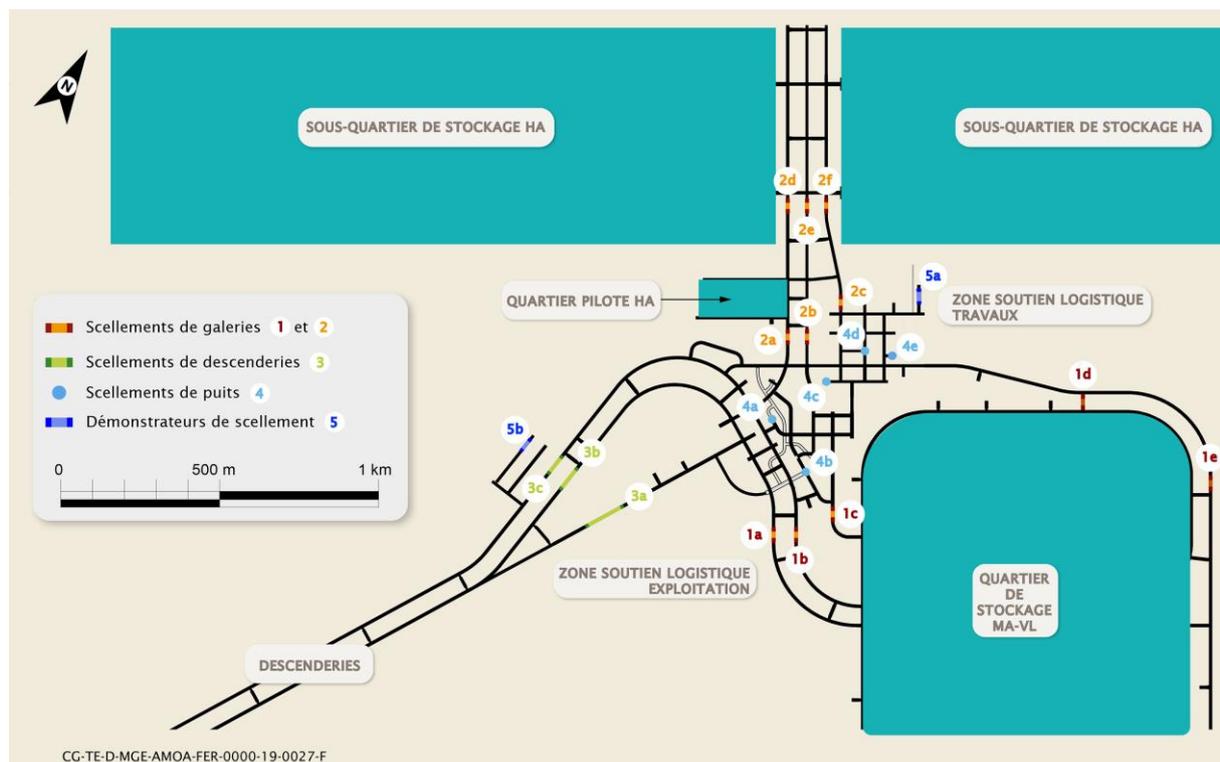


Figure 4-12

Illustration des positions des scellements de fond et des scellements des liaisons surface-fond

Deux optimisations sont envisagées pour les ouvrages de fermeture et prises en compte dans le chiffrage des configurations 2 et 3 (cf. Tableau 4-24). Elles concernent :

- le développement d'une variante de scellements horizontaux en galerie sans massifs d'appui ;
- le nombre de scellements à construire dans les galeries de liaison HA lorsque la décision de fermer l'installation souterraine aura été prise.

Tableau 4-24 Liste des optimisations concernant les ouvrages de fermeture selon les configurations 1, 2 et 3

Intitulé de l'optimisation		Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-091	Suppression de trois scellements en galeries de liaison HA isolant hydrauliquement le quartier de stockage HA du quartier pilote HA		X	X
O-181	Suppression des massifs d'appui des scellements horizontaux		X	X

» CONFIGURATIONS CHIFFRÉES RELATIVES AUX OUVRAGES DE FERMETURE

Dans le cadre du chiffrage, les configurations suivantes sont considérées pour les scellements du quartier de stockage HA :

- **configuration DAC et configuration 1** : il a été retenu la construction de six scellements au niveau des trois galeries de liaison HA : galeries de liaison exploitation, galerie de liaison évacuation/secours et galerie de liaison travaux. Il s'agit des scellements 2a, 2b, 2c, 2d, 2f, 2e de la figure 4-12 ;
- **configurations 2 et 3** : les massifs d'appui des scellement horizontaux en galerie sont supprimés et remplacés par du remblai (optimisation O-181) ; les trois scellements les plus en aval (les plus au nord) de la zone HA (scellements 2d, 2f, 2e de la figure 4-12) qui isolent hydrauliquement le quartier de stockage HA du quartier pilote HA sont supprimés (optimisation O-091). Un scellement est conservé sur chacune des trois galeries de liaison HA (scellements 2a, 2b, 2c).

ANNEXES



Annexe 1 Le portefeuille des optimisations et leur répartition selon les configurations 1, 2 et 3

Tableau Annexe 1-1 Répartition des optimisations selon les configurations 1, 2 et 3

	Intitulé de l'optimisation	Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Ouvrages conventionnels de surface				
O-095b	Bâtiments d'accueil du public et de conservation de la mémoire : Report post T1 de la réalisation des linéaires d'archives intermédiaires		X	X
O-096a	Bâtiment administratif localisé en A-06 de la zone descendrière : Réduction de la surface du bâtiment en lien avec le dimensionnement des effectifs	X	X	X
O-097a	Parking Silo : choix du matériau des façades		X	X
O-097c	Ajustement de la taille du parking silo au dimensionnement des effectifs		X	X
O-099a	Décalage temporel de l'atelier de maintenance localisé en A-04 de la zone puits	X	X	X
O-099b	Intégration des ateliers de maintenance localisés en A-04 et G-13 de la zone puits à des bâtiments existants		X	X
O-100	Ajustement de la durée d'exploitation de l'atelier de maintenance INB en zone descendrière suite au report de la fonction de maintenance légère au sein de EP1	X	X	X
O-105	Ajuster la taille du parking situé en amont du poste de garde ZAC descendrière au dimensionnement des effectifs		X	X
O-120	Réaménagement des locaux CFI-CC des postes de garde	X	X	X
O-133	Mutualisation des édicules des piézomètres	X	X	X
O-182	Utilisation de l'eau pluviale au même titre que l'eau recyclée pour les besoins internes	X	X	X
O-190	Adapter les surfaces des bâtiments conventionnels au dimensionnement des effectifs	X	X	X
O-199	Optimisation du bâtiment sûreté/sécurité/environnement		X	X
O-203	Mutualisation de l'atelier de maintenance localisé en E-11 de la zone puits avec l'émergence du Puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) et relocalisation des fonctions du Bâtiment de lutte contre l'incendie et de secours aux victimes	X	X	X
O-204	Installations non nucléaires de surface modulaires, préfabriquées en usine et assemblées sur site			X

	Intitulé de l'optimisation	Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-231	Réduction de la taille des usines de ventilation en zone exploitation en réduisant le nombre de ventilateurs sans impact sur les largeurs de travées		X	X
O-249	Redimensionnement des radiers des émergences de puits			X
O-263	Suppression de la station météo de la zone puits	X	X	X
Ouvrages nucléaires de surface				
O-035	Réalisation des contrôles hors flux sur les sites producteurs conduisant à une modification du génie civil du bâtiment EP1			X
O-036	Intégration dans EP1 de la fonction de déchargement horizontal portée par le bâtiment ETH		X	X
O-103	Optimisations du bâtiment EP1	X	X	X
O-246	Suppression de la fonction de clavage des colis dans EP1		X	X
O-038a	Optimisations du bâtiment EP2 : compacité des zones tampon	X	X	X
O-038b	Optimisations du bâtiment EP2 : modification des systèmes de transfert		X	X
O-148a	Adaptation du dispositif de lutte contre la remontée des nappes : Parois contiguës à EP1 et ouverture ouest	X		
O-148b	Adaptation du dispositif de lutte contre la remontée des nappes : Suppression du linéaire de paroi et maintien des drains		X	X
Gestion des matériaux excavés				
O-106	Optimisation des verses : report du plateformage des verses pour la deuxième tranche de réalisation		X	X
Modernisation de la ligne 027000				
O-260a	Optimisations des travaux de rénovation de la ligne 027000 : <ul style="list-style-type: none"> • mise en dépôt définitif des matériaux excavés à proximité du lieu d'extraction • modification de gabarit de l'OA 08 		X	X
O-260b	Optimisations des travaux de rénovation de la ligne 027000 : <ul style="list-style-type: none"> • réduction des travaux antipollution (hypothèse d'une absence de pollution potentielle sur les sols excavés) • suppression de 11 km de piste latérale de maintenance • suppression de 50 % des drainages et bassins 			X

	Intitulé de l'optimisation	Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Ouvrages souterrains				
O-047c	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 5 %	X		
O-047a	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 10 %		X	
O-047b	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 20 %			X
O-114	Optimisation de la ZSL Exploitation : linéarisation de l'architecture en lien avec la remontée des groupes froids en surface		X	X
O-128	Mise en œuvre d'une colonne à béton		X	X
O-165a	Développement de matériaux alternatifs autre que voussoir compressible VMC (hors alvéoles thermiques)	X	X	X
O-215	Optimisation de la ZSL - Travaux	X	X	X
O-227	Optimisations des volumes de béton et de ferrailage dans le génie civil secondaire	X	X	X
O-228	Platelages des voies de roulement réalisés en éléments préfabriqués en béton		X	X
Quartier MA-VL				
O-004	Stockage direct de 100 % des colis CSD-C (hors catégorie physico-chimique MA-VL 3), au lieu de 86 %	X	X	X
O-006e	Stockage direct de 70 % des colis 500 L MI : empilement des colis sur 2 nappes avec panier au-dessus des CS 2	X		
O-006c	Stockage direct des colis 500 L MI : empilement des colis sur 2 nappes avec panier au-dessus des CS 2		X	
O-006a	Stockage direct des colis 500 L MI : empilement des colis sur 2 nappes sans panier au-dessus des CS 2			X
O-007	Stockage direct de 83 % des colis 870 L, au lieu de 50 %	X	X	X
O-022	Adaptation des linéaires de creusement des alvéoles MA-VL	X	X	X
O-053	Adaptation au juste besoin des linéaires de galerie afin d'augmenter la zone utile de stockage des alvéoles MA-VL			X
O-112a	Adaptation de la conception des alvéoles MA-VL de CSD-C stockage direct : suppression du double rouleau sans modification du diamètre excavé	X	X	

	Intitulé de l'optimisation	Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
O-112b	Adaptation de la conception des alvéoles MA-VL de CSD-C stockage direct : réduction du diamètre excavé			X
O-084	Adaptation des épaisseurs de radioprotection aux types de colis	X	X	X
O-149	Optimisation de l'utilisation du démonstrateur MA-VL : déplacement des équipements de la recoupe CFI		X	X
O-165b	Développement de matériaux alternatifs autres que voussoir compressible VMC pour les alvéoles MA-VL accueillant des CSD-C et C1PG ^{SP}		X	X
O-175	Réduction de la boucle MA-VL par levée des risques mitigés « stockage direct »			X
O-207	Suppression des paniers CS 26 et gerbage des colis 500 L FI les uns sur les autres			X
O-209a	Identification de nouvelles familles de colis éligibles au stockage direct : colis DIADEM MA-VL 5		X	X
O-209b	Identification de nouvelles familles de colis éligibles au stockage direct : colis DIADEM MA-VL 3			X
O-209c	Identification de nouvelles familles de colis éligibles au stockage direct : colis CEA-231, CEA-232 et CEA-1140			X
O-118	Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie : suppression du 8 ^e alvéole de déchets bitumés		X	
O-250	Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie : Mise en place de la 3 ^e nappe de blocs de remplissage avant la fin d'exploitation du quartier MA-VL		X	
O-251	Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie : Réduction du nombre d'alvéoles de déchets bitumés par levée du risque incendie, permettant de stocker sur trois nappes			X
O-191b	Stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés : Stockage direct des colis et co-stockage permettant de supprimer deux alvéoles	X	X	X
O-117	Stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés : Réduction de la boucle MA-VL par levée des risques mitigés « bitumes »			X

	Intitulé de l'optimisation	Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Quartier de stockage HA				
O-052	Optimisation du diamètre utile des recoupes E/S - LTE CFO/CFI entre galeries d'accès du quartier de stockage HA	X	X	X
O-054a	Optimisation THM (loi de comportement) du chargement des alvéoles HA : réduction de 5 % de l'entraxe entre alvéoles	X		
O-054b	Optimisation THM (loi de comportement) du chargement des alvéoles HA : réduction de 15 % de l'entraxe entre alvéoles		X	
O-054c	Optimisation THM (loi de comportement) du chargement des alvéoles HA : réduction de 20 % de l'entraxe entre alvéoles			X
O-179	Creusement des galeries d'accès au tunnelier pleine face		X	X
O-210a	Diminution du linéaire de galerie d'accès du quartier de stockage HA par l'augmentation de la longueur des alvéoles à 180 m	X		
O-210c	Diminution du linéaire de galerie d'accès du quartier de stockage HA par l'augmentation de la longueur des alvéoles à 180 m et allongement des alvéoles de bord à 300 m		X	X
O-234	Compactage de la chronique HA en retardant de 8 ans l'arrivée du premier colis HA			X
O-261	Système d'inertage mobile		X	X
Conteneurs de stockage HA et MA-VL				
O-069	Optimisation de l'épaisseur du conteneur de stockage HA (à exigence de débit de dose inchangée (10 Gy/h)) et du process de fabrication		X	X
O-093	Remplacement des patins en alumine à 99,7 % des colis HA par de l'alumine à 95 %		X	X
O-166b	Optimisation de la conception et du coût des paniers de stockage direct CS 22 <i>via</i> l'allègement des parois latérales et des couvercles (CSD-C)			X
O-166a	Optimisation de la conception et du coût des paniers de stockage direct CS 26 <i>via</i> l'allègement du couvercle (500 L FI)	X	X	X
O-206	Optimisation du scénario de production des conteneurs MA-VL			X
O-262	Réalisation des blocs de remplissage des alvéoles de déchets bitumés avec des exigences au juste besoin	X	X	

	Intitulé de l'optimisation	Configuration 1	Configuration 2	Configuration 3
Démantèlement et fermeture				
O-091	Suppression de trois scellements en galeries de liaison HA isolant hydrauliquement le quartier de stockage HA du quartier pilote HA		X	X
O-181	Suppression des massifs d'appui des scellements horizontaux		X	X
O-192	Déconstruction de EP1 au plus tôt et suppression de la mise sous cocon	X	X	X
O-230	Limitation de la déconstruction des installations en fond		X	X

Annexe 2 Le périmètre impacté par les optimisations

Le tableau suivant précise le périmètre technique impacté par chaque optimisation. Les impacts sur les coûts d'assurance et de fiscalité ne sont pas précisés.

Tableau Annexe 2-1 Périmètre technique impacté par chaque optimisation

	Intitulé	Tranche	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS8	EXPLOITATION	MCO	DEMANTELEMENT	FERMETURE
Ouvrages nucléaires de surface													
O-103	Optimisation du bâtiment EP1	T1		X			X			X	X	X	
O-246	Suppression de la fonction de clavage des colis dans EP1	T1		X						X	X	X	
O-035	Réalisation des contrôles hors flux sur les sites producteurs conduisant à une modification du génie civil du bâtiment EP1	T1		X			X			X	X	X	
O-036	Intégration dans EP1 de la fonction de déchargement horizontal portée par le bâtiment ETH	T1		X			X			X	X	X	
O-192	Déconstruction de EP1 au plus tôt et suppression de la mise sous cocon	TU										X	
O-038a	Optimisations du bâtiment EP2 : compacité des zones tampon	TU		X			X			X	X	X	
O-038b	Optimisations du bâtiment EP2 : modification des systèmes de transfert	TU		X			X			X	X	X	
O-148 a/b	Adaptation du dispositif de lutte contre la remontée des nappes	T1					X				X	X	

	Intitulé	Tranche	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS8	EXPLOITATION	MCO	DEMANTELEMENT	FERMETURE
Ouvrages conventionnels de surface : mutualisation et/ou reports d'usages, ajustements de surfaces et/ou de durées d'exploitations													
O-095b	Bâtiments d'accueil du public et de conservation de la mémoire : report post T1 de la réalisation des linéaires d'archives intermédiaires	T1/TU			X					X	X		
O-096a	Bâtiment administratif localisé en A-06 de la zone descendrie : réduction de la surface du bâtiment en lien avec le dimensionnement des effectifs	T1			X					X	X	X	
O-097a	Parking Silo : choix du matériau des façades	T1			X						X	X	
O-097c	Ajustement de la taille du parking silo au dimensionnement des effectifs	T1			X					X	X	X	
O-099a	Décalage temporel de l'atelier de maintenance localisé en A-04 de la zone puits	T1/TU			Echéancier					X	X		
O-099b	Intégration des ateliers de maintenance localisés en A-04 et G-13 de la zone puits à des bâtiments existants	T1			X					X	X	X	
O-105	Ajuster la taille du parking situé en amont du poste de garde ZAC descendrie au dimensionnement des effectifs	T1			X					X	X	X	
O-190	Adapter les surfaces des bâtiments conventionnels au dimensionnement des effectifs	T1			X		X			X	X	X	
O-100	Ajustement de la durée d'exploitation de l'atelier de maintenance INB en zone descendrie suite au report de la fonction de maintenance légère au sein de EP1	TU			X					X	X		
O-120	Réaménagement des locaux CFI-CC des postes de garde	T1			X		X			X	X	X	

	Intitulé	Tranche	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS8	EXPLOITATION	MCO	DEMANTELEMENT	FERMETURE
O-133	Mutualisation des édicules des piézomètres	T1					X				X		
O-182	Utilisation de l'eau pluviale au même titre que l'eau recyclée pour les besoins internes	T1					X			X	X	X	
O-263	Suppression de la station météo de la zone puits	T1					X				X	X	
O-199	Optimisation du bâtiment sûreté/sécurité/ environnement	T1					X			X	X	X	
O-203	Mutualisation de l'atelier de maintenance localisé en E-11 de la zone puits avec l'émergence du Puits « ventilation air frais exploitation » (VFE) et relocalisation des fonctions du Bâtiment de lutte contre l'incendie et de secours aux victimes	T1			X	X	X			X	X	X	
O-204	Installations non nucléaires de surface modulaires, préfabriquées en usine et assemblées sur site	T1			X	X	X				X	X	
O-231	Réduction de la taille des usines de ventilation en zone exploitation en réduisant le nombre de ventilateurs sans impact sur les largeurs de travées	T1				X	X			X	X	X	
O-249	Redimensionnement des radiers des émergences de puits	T1				X					X	X	
O-106	Optimisation des verses : Report du plateformage des verses pour la deuxième tranche de réalisation	T1			X		X			X	X	X	
O-260 a/b	Optimisations des travaux de rénovation de la ligne 027000	T1						X					

	Intitulé	Tranche	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS8	EXPLOITATION	MCO	DEMANTELEMENT	FERMETURE
Optimisations des ouvrages souterrains													
O-215	Optimisation de la ZSL - Travaux	T1			X	X				X	X	X	X
O-114	Optimisation de la ZSL Exploitation : linéarisation de l'architecture en lien avec la remontée des groupes froids en surface	T1		X	X	X	X			X	X	X	X
O-047 a/b/c	Optimisation du dimensionnement des soutènements/revêtements de l'ensemble des ouvrages souterrains <i>réalisés en méthode conventionnelle</i> : réduction de l'épaisseur de revêtement de 5 % à 20 %	T1/TU			X	X					X		
O-128	Mise en œuvre d'une colonne à béton	T1				X							
O-165a	Développement de matériaux alternatifs autres que voussoir compressible VMC (hors alvéoles thermiques)	T1/TU				X							
O-227	Optimisations des volumes de béton et de ferrailage dans le génie civil secondaire	T1/TU				X							
O-228	Platelages des voies de roulement réalisés en éléments préfabriqués en béton	T1/TU	X								X	X	

	Intitulé	Tranche	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS8	EXPLOITATION	MCO	DEMANTELEMENT	FERMETURE
Optimisations de construction et dimensionnement des alvéoles, galeries et recoupes HA													
O-054 a/b/c	Optimisation THM (loi de comportement) du chargement des alvéoles HA : réduction de 5 % à 20 % de l'entraxe entre alvéoles	TU	X		X	X				X	X	X	X
O-052	Optimisation du diamètre utile des recoupes E/S – LTE CFO/CFI entre galeries d'accès du quartier de stockage HA	TU			X	X					X		
O-179	Creusement des galeries d'accès au tunnelier pleine face	TU				X							
O-210a	Diminution du linéaire de galerie d'accès du quartier de stockage HA par l'augmentation de la longueur des alvéoles (180 m)	TU	X	X	X	X	X			X	X	X	X
O-210c	Diminution du linéaire de galerie d'accès du quartier de stockage HA par l'augmentation de la longueur des alvéoles à 180 m et allongement des alvéoles de bord à 300 m	TU	X	X	X	X	X			X	X	X	X
O-234	Compactage de la chronique HA en retardant de 8 ans l'arrivée du premier colis HA	TU	X		X	X				X	X	X	X
O-261	Système d'inertage mobile	TU				X					X	X	

	Intitulé	Tranche	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS8	EXPLOITATION	MCO	DEMANTELEMENT	FERMETURE
Stockage direct de colis MA-VL													
O-004	Stockage direct de 100 % des colis CSD-C (hors catégorie physico-chimique MA-VL 3), au lieu de 86 %	T1/TU			X	X				X	X		X
O-006 a/c/e	Stockage direct de tout ou partie des colis 500 L MI : empilement des colis sur deux nappes avec ou sans panier au-dessus des CS 2	TU								X			
O-007	Stockage direct de 83 % des colis 870 L, au lieu de 50 %	TU	X		X	X				X	X	X	X
O-207	Suppression des paniers CS 26 et gerbage des colis 500 L FI les uns sur les autres	TU	X							X	X	X	
O-209 a/b	Identification de nouvelles familles de colis de déchets MA-VL éligibles au stockage direct : colis DIADEM	TU			X	X				X	X		
O-209c	Identification de nouvelles familles de colis éligibles au stockage direct : colis CEA-231, CEA-232 et CEA-1140	TU									X	X	

	Intitulé	Tranche	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS8	EXPLOITATION	MCO	DEMANTELEMENT	FERMETURE
Optimisations des alvéoles MA-VL													
O-022	Adaptation des linéaires de creusement des alvéoles MA-VL	TU			X	X					X		
O-112a	Adaptation de la conception des alvéoles MA-VL de CSD-C stockage direct : suppression du double rouleau sans modification du diamètre excavé	T1/TU				X							
O-112b	Adaptation de la conception des alvéoles MA-VL de CSD-C stockage direct : réduction du diamètre excavé	TU				X							
O-084	Adaptation des épaisseurs de RP aux types de colis	TU				X							
O-149	Optimisation de l'utilisation du démonstrateur MA-VL : déplacement des équipements de la recoupe CFI	T1			X	X					X		
O-165b	Développement de matériaux alternatifs autres que voussoir compressible VMC pour les alvéoles MA-VL accueillant des CSD-C et C1PG ^{SP}	T1/TU				X							
O-175	Réduction de la boucle MA-VL par levée des risques mitigés « stockage direct »	T1			X	X					X		X
O-053	Adaptation au juste besoin des linéaires de galerie afin d'augmenter la zone utile de stockage des alvéoles MA-VL	TU	X		X	X					X	X	X

	Intitulé	Tranche	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS8	EXPLOITATION	MCO	DEMANTELEMENT	FERMETURE
Optimisations des alvéoles de stockage des déchets bitumés													
O-191b	Stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés : stockage direct des colis et co-stockage permettant de supprimer deux alvéoles	TU	X		X	X				X	X	X	X
O-118	Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie : suppression du 8 ^e alvéole de déchets bitumés	TU	X		X	X				X	X	X	X
O-250	Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie : mise en place de la 3 ^e nappe de blocs de remplissage avant la fin d'exploitation du quartier MA-VL	TU								X	X	X	
O-251	Stockage en l'état de colis de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie : réduction du nombre d'alvéoles de déchets bitumés par levée du risque incendie, permettant de stocker sur trois nappes	TU	X		X	X				X	X	X	X
O-117	Stockage de colis de déchets issus du traitement des fûts de déchets bitumés : réduction de la boucle MA-VL par levée des risques mitigés « bitumes »	T1			X	X					X		X
O-262	Réalisation des blocs de remplissage des alvéoles de déchets bitumés avec des exigences au juste besoin	TU								X			

	Intitulé	Tranche	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS8	EXPLOITATION	MCO	DEMANTELEMENT	FERMETURE
Conteneurs de stockage HA et MA-VL													
O-093	Remplacement des patins en alumine à 99,7 % des colis HA par de l'alumine à 95 %	TU								X			
O-069	Optimisation de l'épaisseur du conteneur de stockage HA (à exigence de débit de dose inchangée (10 Gy/h)) et du process de fabrication	TU		X						X	X	X	
O-166a	Optimisation de la conception et du coût des paniers de stockage direct CS 26 <i>via</i> l'allègement du couvercle (500 L FI)	TU								X			
O-166b	Optimisation de la conception et du coût des paniers de stockage direct CS 22 <i>via</i> l'allègement des parois latérales et des couvercles (CSD-C)	TU								X			
O-206	Optimisation du scénario de production des conteneurs MA-VL	TU								X			
Optimisations des coûts de démantèlement et fermeture													
O-091	Suppression de trois scellements en galeries de liaison HA isolant hydrauliquement le quartier de stockage HA du quartier pilote HA	TU								X	X		X
O-181	Suppression des massifs d'appui des scellements horizontaux	TU								X	X		X
O-230	Limitation de la déconstruction des installations en fond	TU								X	X	X	

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 2-1	Localisation dans l'est de la France du centre de stockage Cigéo	8
Figure 2-2	Illustration de l'organisation générale des installations du centre de stockage Cigéo	9
Figure 2-3	Localisation du périmètre INB en surface et en souterrain	10
Figure 2-4	Schéma prévisionnel des phases temporelles du déploiement général de l'INB Cigéo	12
Figure 3-1	Illustration de la partie utile d'un alvéole dédié au stockage de déchets bitumés en l'état mis en conteneurs de stockage renforcés vis-à-vis de l'incendie	26
Figure 3-2	Chronique prévisionnelle de livraison des déchets MA-VL du quartier MA-VL et des déchets HA du quartier pilote considérée pour le chiffrage (cas du stockage de colis de déchets bitumés en l'état)	29
Figure 3-3	Chronique prévisionnelle de livraison des colis de déchets dans le quartier de stockage HA (colis HA1/HA2, et colis HA0 et MA-VL placés dans les espaces intercalaires) considérée pour le chiffrage	29
Figure 3-4	Chronique prévisionnelle de livraison des colis de déchets dans le quartier de stockage HA (colis HA1/HA2, et colis HA0 et MA-VL placés dans les espaces intercalaires) considérée pour le chiffrage de la configuration 3	31
Figure 4-1	Illustration du plan de masse de la zone descenderie	35
Figure 4-2	Schéma du périmètre du chiffrage des ouvrages nucléaires de surface à terminaison (EP1, ETH, TDC et EP2) - configuration DAC	37
Figure 4-3	Principe de l'organisation spatiale du bâtiment nucléaire de surface EP1 et de la tête de descenderie colis	39
Figure 4-4	Illustration en coupe de la tête de descenderie du funiculaire	41
Figure 4-5	Illustration du plan de masse de la zone puits	50
Figure 4-6	Plan de principe de localisation du déploiement des verses en zone puits	53
Figure 4-7	Illustration de l'architecture souterraine de stockage à terminaison pour l'inventaire de référence	62
Figure 4-8	Illustration du quartier de stockage MA-VL à terminaison	66
Figure 4-9	Illustration du quartier pilote HA	78
Figure 4-10	Illustration du quartier de stockage HA à terminaison	79
Figure 4-11	Illustration de l'implantation dans l'architecture souterraine des démonstrateurs réalisés dès la tranche 1	83
Figure 4-12	Illustration des positions des scellements de fond et des scellements des liaisons surface-fond	86

Tableaux

Tableau 3-1	Liste des optimisations impactant les conteneurs de stockage HA selon la configuration chiffrée	17
Tableau 3-2	Liste des optimisations concernant le stockage direct de déchets MA-VL et les paniers de stockage MA-VL selon les configurations 1, 2 et 3	20
Tableau 3-3	Caractéristiques des paniers de stockage MA-VL et quantitatifs associés à chaque configuration chiffrée	22
Tableau 3-4	Liste des optimisations impactant les conteneurs de stockage MA-VL selon les configurations 1, 2 et 3	23
Tableau 3-5	Nombre de conteneurs de stockage des colis MA-VL en fonction de chaque configuration chiffrée	24
Tableau 3-6	Données retenues pour le chiffrage des deux voies de gestion pour le stockage des déchets bitumés	25
Tableau 3-7	Liste des optimisations impactant les conteneurs et les blocs de remplissage des alvéoles de stockage de déchets bitumés selon les configurations 1, 2 et 3	27
Tableau 3-8	Liste des optimisations impactant la chronique de livraison des colis primaires HA selon les configurations 1, 2 et 3	30
Tableau 4-1	Liste des optimisations impactant le périmètre du bâtiment nucléaire de surface EP1 selon les configurations 1, 2 et 3	40
Tableau 4-2	Liste des optimisations impactant l'ouvrage de la tête de descenderie colis selon les configurations 1, 2 et 3	42
Tableau 4-3	Liste des optimisations impactant l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal selon les configurations 1, 2 et 3	43
Tableau 4-4	Liste des optimisations impactant le périmètre du bâtiment nucléaire de surface EP2 selon les configurations 1, 2 et 3	45
Tableau 4-5	Liste des optimisations impactant les ouvrages de protection du site en zone descenderie selon les configurations 1, 2 et 3	46
Tableau 4-6	Liste des optimisations impactant les ateliers de maintenance de la zone descenderie selon les configurations 1, 2 et 3	47
Tableau 4-7	Liste des optimisations impactant les ouvrages liés à la gestion des eaux de la zone descenderie selon les configurations 1, 2 et 3	48
Tableau 4-8	Liste des optimisations impactant les puits travaux selon les configurations 1, 2 et 3	51
Tableau 4-9	Liste des optimisations impactant la gestion des matériaux excavés selon les configurations 1, 2 et 3	53
Tableau 4-10	Liste des optimisations impactant les puits de la zone d'exploitation selon les configurations 1, 2 et 3	55
Tableau 4-11	Liste des optimisations impactant les ouvrages conventionnels de surface selon les configurations 1, 2 et 3	57
Tableau 4-12	Liste des optimisations impactant la ligne 027000	60
Tableau 4-13	Liste des optimisations relatives aux ouvrages communs au fond selon les configurations 1, 2 et 3	64
Tableau 4-14	Liste des optimisations impactant la conception des alvéoles MA-VL selon les configurations 1, 2 et 3	68
Tableau 4-15	Liste des optimisations impactant le nombre d'alvéoles de stockage MA-VL selon les configurations 1, 2 et 3	70
Tableau 4-16	Liste des optimisations impactant le nombre d'alvéoles de stockage des déchets bitumés selon les configurations 1, 2 et 3	73
Tableau 4-17	Hypothèses et nombre d'alvéoles de stockage des déchets bitumés considérés en fonction des configurations chiffrées et de la voie de gestion des déchets bitumés	73
Tableau 4-18	Nombre total d'alvéoles considérés à l'intérieur de la boucle MA-VL et nombre de galeries de recoupes en fonction des configurations chiffrées	75

Tableau 4-19	Liste des optimisations impactant la conception des galeries MA-VL selon les configurations 1, 2 et 3	76
Tableau 4-20	Liste des optimisations impactant le chiffrage du quartier de stockage HA selon les configurations 1, 2 et 3	80
Tableau 4-21	Caractéristiques du quartier de stockage HA considérées pour le chiffrage en fonction de la configuration chiffrée	82
Tableau 4-22	Liste des optimisations concernant les démonstrateurs	84
Tableau 4-23	Liste des optimisations concernant les opérations de démantèlement et de fermeture selon la configuration chiffrée	85
Tableau 4-24	Liste des optimisations concernant les ouvrages de fermeture selon les configurations 1, 2 et 3	87
Tableau Annexe 1-1	Répartition des optimisations selon les configurations 1, 2 et 3	90
Tableau Annexe 2-1	Périmètre technique impacté par chaque optimisation	96

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 2 - Nature de l'installation. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-XEE-0000-19-0003.
- 2 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 1 - Synthèse. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0021.
- 3 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 4 - Chiffrage des coûts d'investissement du process nucléaire (SS1). Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0004.
- 4 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 5 - Chiffrage des coûts d'investissement des bâtiments nucléaires de surface (SS2). Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0005.
- 5 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 6 - Chiffrage des coûts d'investissement des installations conventionnelles de surface et des verses (SS3). Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0006.
- 6 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 7 - Chiffrage des coûts d'investissement des liaisons surface-fond et des ouvrages souterrains (SS4). Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0007.
- 7 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 8 - Chiffrage des coûts d'investissement des installations communes (SS5) et des aménagements préalables (APr). Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0008.
- 8 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 9 - Chiffrage des coûts d'investissement des utilités externes et des aménagements hors site (SS6). Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0009.
- 9 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 10 - Chiffrage des coûts d'investissement du système de transfert incliné des hottes (SS8). Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0010.
- 10 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 11 - Chiffrage des coûts de maîtrise d'ouvrage et de maîtrise d'œuvre. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0011.
- 11 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 12 - Chiffrage des coûts d'exploitation. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0012.
- 12 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 13 - Chiffrage des coûts de maintien en conditions opérationnelles. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0013.
- 13 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 14 - Chiffrage des coûts de démantèlement et de fermeture. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0014.
- 14 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 15 - Chiffrage du schéma assurantiel. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0015.
- 15 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 16 - Chiffrage de la fiscalité. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0016.
- 16 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 16 - Plan directeur de l'exploitation. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SDR-0000-19-0001.

- 17 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 3 - Éléments méthodologiques communs au chiffrage. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0003.
- 18 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 7 - Version préliminaire du rapport de sûreté. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SR0-0000-21-0007.
- 19 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 20 - Plan de développement de l'installation de stockage Cigéo. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-PDD-AMOA-SDR-0000-19-0002.
- 20 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).
- 21 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Inventaire de réserve de l'INB Cigéo. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-ESE-0000-19-0329.
- 22 Inventaire national des matières et déchets radioactifs - Les essentiels 2018. Andra (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.
- 23 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.
- 24 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la conception des conteneurs de stockage HA. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-CS0-0000-19-0002.
- 25 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la conception du conteneur de stockage MA-VL. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-CS0-0000-19-0003.
- 26 Revue externe sur la gestion des déchets bitumés : rapport final. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2019). 97 p. Disponible à l'adresse : <https://www.asn.fr/Media/Files/00-Publications/Rapport-final-revue-dechets-bitumes?>
- 27 Étude PNGMDR 2016-2018 : comportement physico-chimique et thermique des colis de déchets bitumés en stockage. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2019). N°CODEP-DRC-2019-005828. 7 p. Disponible à l'adresse : <https://www.asn.fr/Media/Files/00-PNGMDR/PNGMDR-2016-2018/Courrier-dechets-bitumes-ANDRA>.
- 28 Étude PNGMDR 2016-2018 : analyse de l'impact des résultats des études relatives au comportement des colis de déchets bitumés sur leurs conditions d'accueil dans Cigéo. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2021). N°CODEP-DRC-2021-027897. 7 p. Disponible à l'adresse : <https://www.asn.fr/Media/Files/00-PNGMDR/PNGMDR-2016-2018/Courrier-de-l-ASN-a-l-Andra-du-18-juin-2021-concernant-l-analyse-de-l-impact-des-resultats-des-etudes-relatives-au-comportement-des-colis-de-dechets-bitumes-sur-leurs-conditions-d-accueil-dans-Cigeo>.
- 29 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>.
- 30 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>.

- 31 Projet global Cigéo - Dossier de chiffrage. Pièce 20 - Échéancier des dépenses. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-EEE-0000-23-0020.
- 32 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la conception de l'alvéole MA-VL. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-ASU-0000-19-0045.
- 33 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la conception des alvéoles dédiés au stockage des colis de déchet bitumés mis en conteneur renforcé. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-MT0-0000-20-0017.



**AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION
DES DÉCHETS RADIOACTIFS**

1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
www.andra.fr

