RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
*Liberté*
*Égalité*
*Fraternité*

ANDRA

2026

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

PIÈCE 7

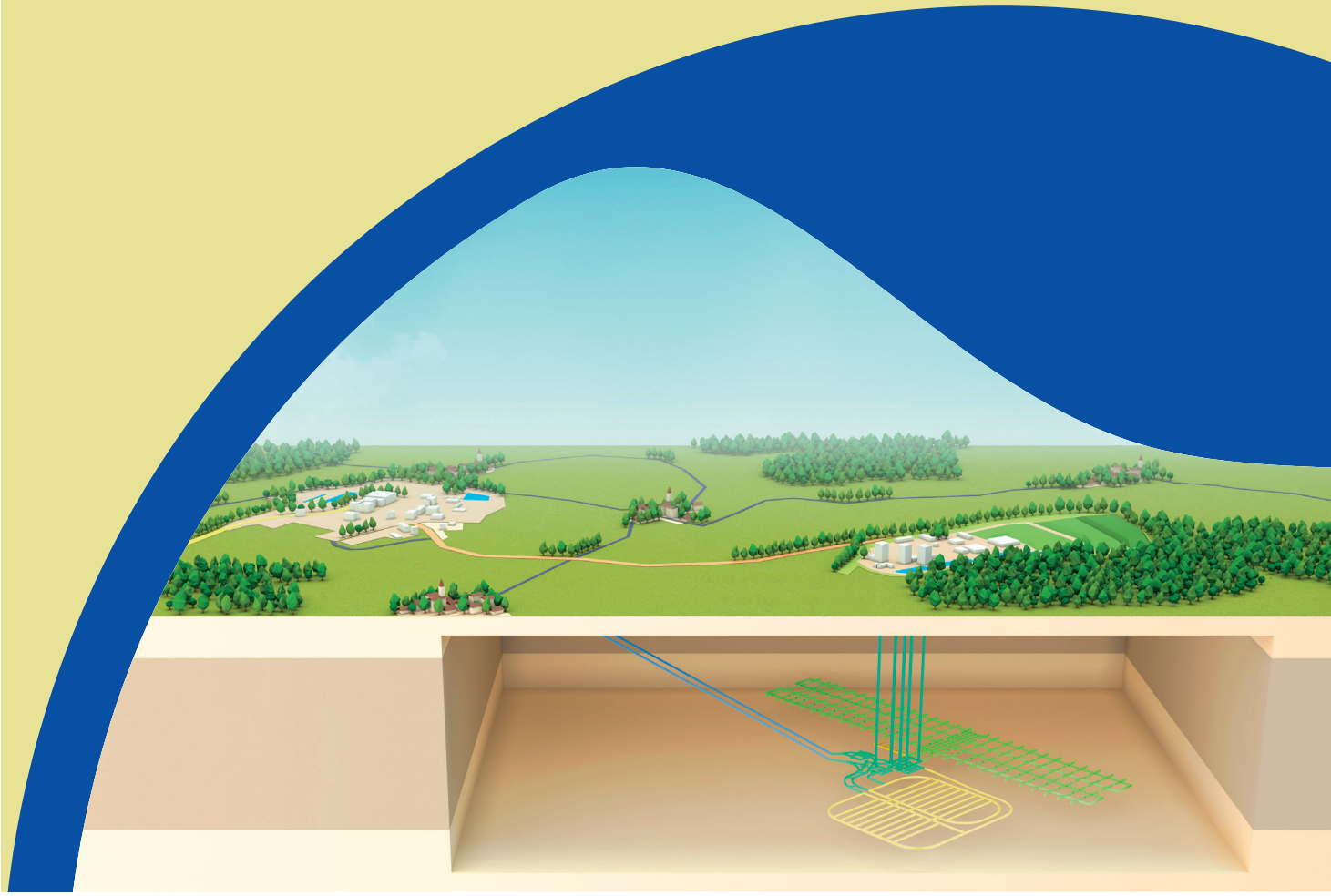
# Version préliminaire du rapport de sûreté

## PARTIE IV

Volumes complémentaires répondant au III de l'article R.593-16 du code de l'environnement

## Volume 13

La récupérabilité des colis de déchets stockés



## MISE À JOUR DU DOSSIER D'AUTORISATION DE CRÉATION POUR ENQUÊTE PUBLIQUE

À la suite de l'instruction technique par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection et des consultations réglementaires, et avant son passage en enquête publique, des mises à jour ont été apportées par l'Andra dans certaines pièces du dossier (déposé initialement le 16 janvier 2023).

Pour la clarté de l'information, l'Andra assure la traçabilité de ces mises à jour via les moyens suivants :

- des barres grises en marge du texte pour tracer les modifications ou ajouts en amont des consultations réglementaires ;
- un surlignage gris pour tracer les modifications ou ajouts depuis les consultations réglementaires ;
- des tableaux de traçabilité de ces mises à jour.

Les corrections mineures (orthographiques, de forme ou d'imprécision) ne sont pas matérialisées.

# Sommaire


**1. Le contexte de la récupérabilité 7**

*1.1 Quelques rappels 8*

1.1.1 La réversibilité 8
1.1.2 La récupérabilité 9
1.1.3 Niveau de fermeture et échelle de récupérabilité 9

*1.2 Scénarios de retraits étudiés 12*

*1.3 Principes directeurs de la récupérabilité 14*

**2. La robustesse des choix de conception en lien avec la récupérabilité 17**

*2.1 Robustesse et durabilité des composants du stockage 18*

2.1.1 Robustesse des colis primaires MA-VL mis en conteneur 18
2.1.2 Robustesse des colis primaires MA-VL en stockage direct 21
2.1.3 Robustesse des alvéoles MA-VL 22
2.1.4 Robustesse conférée par les dispositifs de surveillance des alvéoles MA-VL 26
2.1.5 Robustesse des colis de stockage HA 27
2.1.6 Robustesse des alvéoles HA 30
2.1.7 Dispositifs de surveillance et d'exploitation concourant à la robustesse de l'alvéole HA 35
2.1.8 Dispositifs laissés en place après remplissage des alvéoles HA concourant à la robustesse de la récupérabilité 36

*2.2 Équipements de retrait des colis 38*

2.2.1 Équipements de retrait des colis MA-VL 38
2.2.2 Équipements de retrait des colis HA 40
2.2.3 Retour d'expérience acquis par la campagne d'essais technologiques de retrait réalisés par l'Andra 42

*2.3 Aptitude à la déconstruction des ouvrages de fermeture des galeries 52*

2.3.1 Introduction 52
2.3.2 Réouverture des galeries, déconstruction des remblais et scellements 52

**3. Les dispositions conservatoires prises pour la récupérabilité 59**

*3.1 Dispositions conservatoires intégrées aux ouvrages de stockage souterrains 60*

3.1.1 Dispositifs laissés en place après remplissage des alvéoles MA-VL facilitant la récupérabilité 60
3.1.2 Dispositions facilitant la réouverture des alvéoles MA-VL 62
3.1.3 Dispositifs laissés en place après remplissage des alvéoles HA facilitant la récupérabilité 64

*3.2 Dispositions conservatoires intégrées aux installations en surface 64*

3.2.1 Espaces en surface dédiés au retrait des colis de déchets 64
3.2.2 Installations, moyens et équipements en surface associés à la déconstruction des ouvrages de fermeture en préalable au retrait 65

*3.3 Dispositions d'exploitation adaptées aux opérations de retrait 65*

3.3.1 Validation de la capacité à retirer les colis de déchets en situation d'exploitation industrielle 66

3.3.2 Opérations de contrôle des colis concourant à la récupérabilité 67
3.3.3 Gestion des informations utiles aux opérations de retrait 67
3.3.4 Synthèse des dispositions d'exploitation en lien avec la récupérabilité 68
*3.4 Réévaluations périodiques de la récupérabilité 69*

**4. Les scénarios de retrait étudiés 71**
*4.1 Scénarios de retrait en exploitation 72*
4.1.1 Retrait d'un colis de stockage MA-VL non contaminé, remonté à la surface 72
4.1.2 Retrait de colis de stockage MA-VL non contaminés transférés dans un autre alvéole MA-VL 73
4.1.3 Retrait d'un colis de stockage HA non contaminé remonté à la surface 74
4.1.4 Retrait de colis de stockage HA non contaminés transférés dans un autre alvéole HA 74
*4.2 Scénarios hypothétiques de récupérabilité 75*
4.2.1 Alvéole MA-VL au niveau 2, retrait complet et réexpédition de tous les colis de déchets non contaminés 75
4.2.2 Non poursuite du projet à l'issue de la PHIPIL, remontée de tous les colis MA-VL stockés non contaminés 76
4.2.3 Niveau 4 de récupérabilité (quartier de stockage MA-VL fermé), réouverture des galeries et des alvéoles, retrait d'une famille de colis MA-VL (non contaminés) 77
4.2.4 Alvéole HA au niveau 2, retrait complet et réexpédition de tous les colis du quartier pilote HA contaminés par des produits d'activation de l'acier 83
4.2.5 Niveau 4 (quartier fermé), ouverture des galeries et des alvéoles du quartier pilote HA, retrait et expédition de tous ses colis contaminés par des produits d'activation de l'acier 85
*4.3 Scénarios hypothétiques de retrait « sûreté/post-accidentel » 87*
4.3.1 Retrait d'un colis MA-VL contaminé « manutentionnable » après fixation de la contamination 87
4.3.2 Retrait d'un colis HA manutentionnable contaminé à la suite d'une altération localisée ou d'une perte d'intégrité d'un conteneur voisin 92

**5. La nature des essais de retrait en phase industrielle pilote 101**
*5.1 Objectifs et nature des essais de récupérabilité d'exploitation 102*
*5.2 Retrait d'exploitation d'un colis MA-VL non contaminé, remonté à la surface 102*
*5.3 Retrait d'exploitation de colis MA-VL non contaminés transférés dans un autre alvéole MA-VL 103*
*5.4 Retrait d'exploitation d'un colis HA non contaminé remonté à la surface 104*
*5.5 Retrait d'exploitation de colis HA non contaminés transférés dans un autre alvéole HA 104*

**Tables des illustrations 107**

**Références bibliographiques 111**

# Préambule

Le développement de l'INB repose sur une démarche de sûreté itérative. Celle-ci est en particulier définie dans le guide de sûreté de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde qui précise que le processus d'évaluation de la sûreté « *est réalisé périodiquement aux différentes phases de développement d'une installation de stockage, depuis sa conception jusqu'à sa fermeture. Ces évaluations conduisent à confirmer ou à réviser des dispositions fixées à l'étape précédente, en vue d'établir la démonstration de la sûreté du stockage* ».

La réversibilité est définie par l'article L. 542.10-1 du code de l'environnement comme « *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. La réversibilité est mise en œuvre par la progressivité de la construction, l'adaptabilité de la conception et la flexibilité d'exploitation d'un stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs permettant d'intégrer le progrès technologique et de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets consécutives notamment à une évolution de la politique énergétique. Elle inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage* ».

Les dispositions prévues par l'Andra pour assurer le caractère réversible du stockage correspondent ainsi aux quatre volets suivants support à la réversibilité : i) le développement incrémental de la conception et la progressivité de la construction, ii) la flexibilité de l'exploitation, iii) l'adaptabilité des installations, iv) la récupérabilité.

Le présent volume 13, établi en réponse au III de l'article R. 593-16 du code de l'environnement, est centré sur les opérations de retrait hypothétiques. Il présente les principales mesures conservatoires mises en place dès la construction pour faciliter le retrait, également décrites au volume 5. Pour mémoire, il ne traite, en revanche, que succinctement des opérations de retrait de colis pendant l'exploitation et des essais dédiés envisagés en Phipil, essais détaillés dans la pièce 20 « Plan de développement de l'installation de stockage Cigéo » (1). Ne sont pas abordées les opérations éventuelles de retrait post-accidentelles (ce sujet est présenté dans les volumes 5 et 9 du présent rapport de sûreté).

Le présent volume présente au chapitre 1 le contexte de la récupérabilité et au chapitre 2 les éléments justifiant la robustesse de la conception de l'INB en regard de la récupérabilité. Sont exposées au chapitre 3, les dispositions conservatoires prises lors de la construction des ouvrages et de l'exploitation (y compris celles relatives aux dispositifs envisagés de surveillance de l'installation en fonctionnement) afin de faciliter ces éventuelles opérations ultérieures de retrait et réduire les risques associés, en termes de sécurité pour le personnel.

Sur la base de scénarios prédéfinis, sont ensuite décrites au chapitre 4 du présent volume les activités techniques à réaliser en regard des opérations de retrait des colis de déchets stockés dans les ouvrages de l'INB, opérations qui pourraient être décidées avant et après les opérations de fermeture éventuelles.

Au chapitre 5 du présent volume, une programmation préliminaire des essais de retrait d'exploitation envisagés en Phipil est proposée (et évoquée dans la pièce 20 « Plan de développement de l'installation de stockage Cigéo » (1)).

Le présent volume est écrit essentiellement sur la base des connaissances acquises, issues des études d'avant-projet et des essais technologiques conduits par l'Andra jusqu'à la mi 2020. Le retour d'expérience des différents essais technologiques menés en propre par l'Andra, en matière de retrait des colis est également exposé. Les éléments techniques et les données qui y sont présentés sont susceptibles d'évoluer en fonction des nouveaux essais et études menés, des demandes de l'autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR), des évaluations de la Commission nationale d'évaluation (CNE) et des échanges avec les parties prenantes.

# 1

# Le contexte de la récupérabilité

1.1 Quelques rappels 8
1.2 Scénarios de retraits étudiés 12
1.3 Principes directeurs de la récupérabilité 14

# 1.1 Quelques rappels

## 1.1.1 La réversibilité

Dans le cadre de la réversibilité et des choix qu'elle offre en matière de gestion des déchets radioactifs, l'éventualité que, sur la durée d'ordre séculaire de l'exploitation de l'INB, les générations futures aient la volonté de retirer tout ou partie des colis de déchets stockés est envisagée.

Cette notion de réversibilité qui est d'une acception très large est illustrée par le schéma ci-après qui synthétise les choix laissés aux générations futures, à la société civile et au législateur, quant au devenir du stockage géologique.

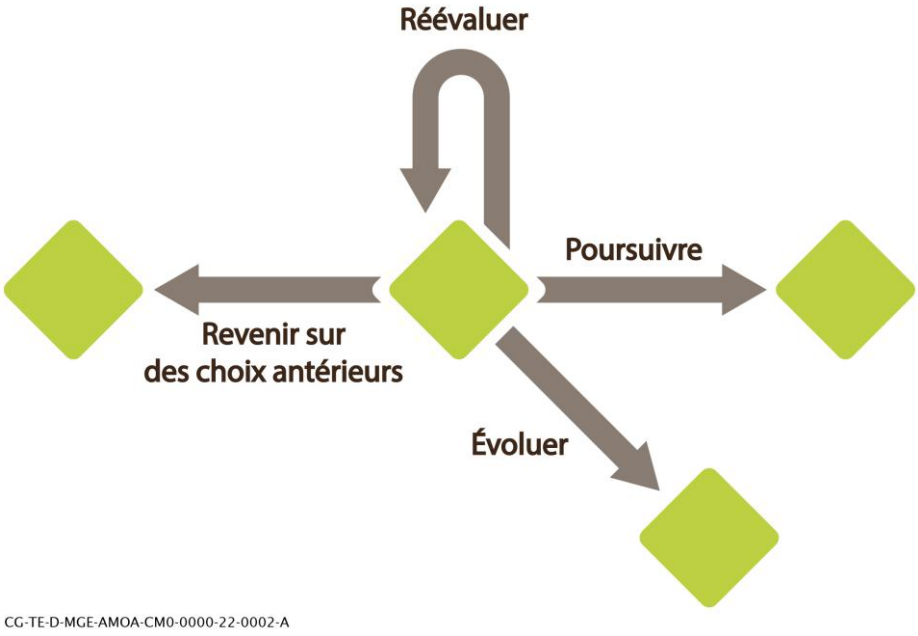



*Figure 1-1* *Schéma synthétique des choix de réversibilité laissés au législateur et à la société civile*

La mise en pratique du principe de réversibilité s'appuie sur des outils de gouvernance (la démarche retenue pour la prise de décision) et sur les dispositions techniques de conduite de l'installation suivantes :

- amélioration continue des connaissances (R&D menée en parallèle de la Phipil et expérience acquise en exploitation du centre) ;
- développement incrémental et progressivité de la construction ;
- flexibilité de l'exploitation ;
- adaptabilité des installations (*e.g.* Stockage des combustibles usés et déchets de l'inventaire de réserve) ;
- récupérabilité (retrait des colis) ;
- transparence et transmission des informations et des connaissances ;
- participation de la société civile, évaluation et supervision par le Parlement ;
- contrôle par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection.

La récupérabilité s'inscrit donc dans le contexte plus large de la réversibilité.

## 1.1.2 La récupérabilité

La récupérabilité correspond à la capacité pratique à retirer les colis stockés en formation géologique profonde. La récupérabilité est un des outils techniques qui offre des choix aux générations futures dans le cadre de la démarche plus large de réversibilité. L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement précise aussi que la réversibilité « *inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée, cohérentes avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage* ».

La récupérabilité ne constitue pas une fin en soi. En effet, le fait de retirer du stockage un ou des colis de déchets, qui y avaient initialement été placés sans l'intention de les en retirer ultérieurement, implique une réorientation de la décision initiale. La mise en œuvre de la récupérabilité doit donc avoir un but qui procure un avantage significatif par rapport à la décision initiale de stocker, y compris en termes de sûreté, en fonctionnement ou après-fermeture. Elle ne peut donc être exercée qu'associée à d'autres critères de décisions dans le cadre de la gouvernance globale du stockage.

Les dispositions techniques permettant d'assurer le retrait des colis de déchets stockés sont intégrées dès la conception du stockage géologique. Elles visent à rendre possibles les opérations de retrait sans préjudice pour la sûreté et l'environnement. Elles recouvrent des principes de conception robustes des composants du stockage et de ses équipements, des essais *in situ* pour vérifier leur bon fonctionnement, des dispositions prudentes d'exploitation et des dispositifs de surveillance.

La récupérabilité est associée à des dispositions techniques dont la performance est justifiable techniquement sur une durée d'ordre séculaire, en cohérence avec la durée minimale de 100 ans pendant laquelle l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement précise que « *à titre de précaution, la réversibilité du stockage doit être assurée* ». Au stade de la conception du projet Cigéo, cette période séculaire correspond par ailleurs à la durée prévue pour le fonctionnement du centre de stockage (fermeture définitive prévue à l'horizon 2150).

Les opérations de retrait des colis permettent de répondre :

- aux scénarios dits d'exploitation ;
- aux scénarios dits hypothétiques[1] ;
- aux scénarios dits hypothétiques « sûreté/post accidentel ».

Les scénarios de retrait dits d'exploitation sont traités en détail dans les volumes 5 et 9 du présent rapport alors que le présent volume développe les scénarios dits hypothétiques. Les scénarios d'exploitation sont repris succinctement dans le présent volume pour ce qui concerne les parties des équipements et des séquences opératoires communes aux retraits d'exploitation et aux retraits hypothétiques (ces parties communes facilitent la présentation des retraits hypothétiques).

## 1.1.3 Niveau de fermeture et échelle de récupérabilité

Le schéma de fermeture proposé à ce stade (cf. Pièce 13 « Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance (3) ») n'est pas figé. Le développement de l'exploitation (cf. Article L. 542-10-1 du code de l'environnement) offre la possibilité de schémas de fermeture plus progressifs et anticipés ou, inversement, plus concentrés dans le temps à la fin du fonctionnement. Conformément à la décision du 21 février 2020 consécutive au débat public dans le cadre de la préparation de la cinquième édition du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) (4), c'est le PNGMDR qui *« précisera les conditions de mise en œuvre de la réversibilité du stockage […], les jalons décisionnels du projet Cigéo ainsi que la gouvernance à mettre en œuvre afin de pouvoir réinterroger les choix effectués »*.

[1] Les scénarios hypothétiques correspondent à des scénarios possibles, sans pour autant être prévus d'être mis en œuvre à ce stade du développement de l'installation (cf. Pièce 16 « Plan directeur de l'exploitation » (2)).

L'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) a par ailleurs proposé une échelle internationale de la récupérabilité des colis de déchets établie en fonction des étapes de leur mise en stockage en formation géologique (du départ d'une installation d'entreposage à la phase de post-fermeture du stockage). Cette échelle est exprimée en niveaux de récupérabilité, graduée de 1 à 6 (cf. Figure 1-2).

Au niveau 1, les colis de déchets sont présents dans les installations de surface du centre de stockage ou sont utilisés pour des essais dans les ouvrages souterrains.

Le passage du niveau 1 au niveau 2 s'effectue lorsque le colis est mis en place dans un alvéole en vue de son stockage. L'alvéole passe au niveau 2 dès qu'il contient un premier colis de déchets en vue de son stockage (c'est-à-dire sans intention de l'en retirer ultérieurement)[2] ;

Au niveau 2 de la récupérabilité, on procède donc au remplissage des ouvrages de stockage :

- pour l'alvéole MA-VL, cette action se termine à la fin du chargement des colis MA-VL, avec la mise en place du mur de blocs de radioprotection de fin d'exploitation, sans arrêter le dispositif de ventilation traversante (cf. Chapitre 2 du présent volume). Ce niveau de récupérabilité peut être maintenu sur plusieurs dizaines d'années par l'exploitant en attente d'une décision de fermeture ;
- pour l'alvéole HA, cette action se termine à la fin du chargement des colis HA, avec la mise en place du bouchon de fermeture et de radioprotection de fin d'exploitation, sans obturer les dispositifs d'extraction des fluides (eau, gaz) en tête d'alvéole (cf. Chapitre 2 du présent volume). Ce niveau de récupérabilité peut être maintenu sur plusieurs dizaines d'années par l'exploitant en attente d'une décision de fermeture.

Au niveau 3, on procède d'abord à l'arrêt de l'extraction des fluides des alvéoles HA et de la ventilation pour l'alvéole MA-VL, puis on construit les ouvrages de fermeture dont les remblais des galeries d'accès au droit des alvéoles HA, dont les remblais au droit de la galerie d'accès et de la galerie de jonction de retour d'air de l'alvéole MA-VL. Cette fermeture au niveau 3 se termine quand le remblayage du quartier concerné commence.

Au niveau 4, on procède au remblayage du quartier concerné (ou de la totalité des quartiers si la décision est prise de fermer le stockage en une seule fois en fin d'exploitation) en construisant alors les scellements adaptés à l'architecture souterraine, y compris pour les ouvrages de liaison jour-fond.

[2] L'absence « d'intention » de retrait au moment du stockage de déchets radioactifs est fixée par le code de l'environnement (article L. 542-1-1). La directive européenne du 19 juillet 2011 définit également le stockage comme « *le dépôt de combustible usé ou de déchets radioactifs dans une installation sans intention de retrait ultérieur* » (5) . Elle rejoint la définition du stockage définitif donnée par l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), à savoir « *la mise en place de déchets radioactifs dans une installation ou un emplacement sans intention de les récupérer* » (SSR-5) (6).

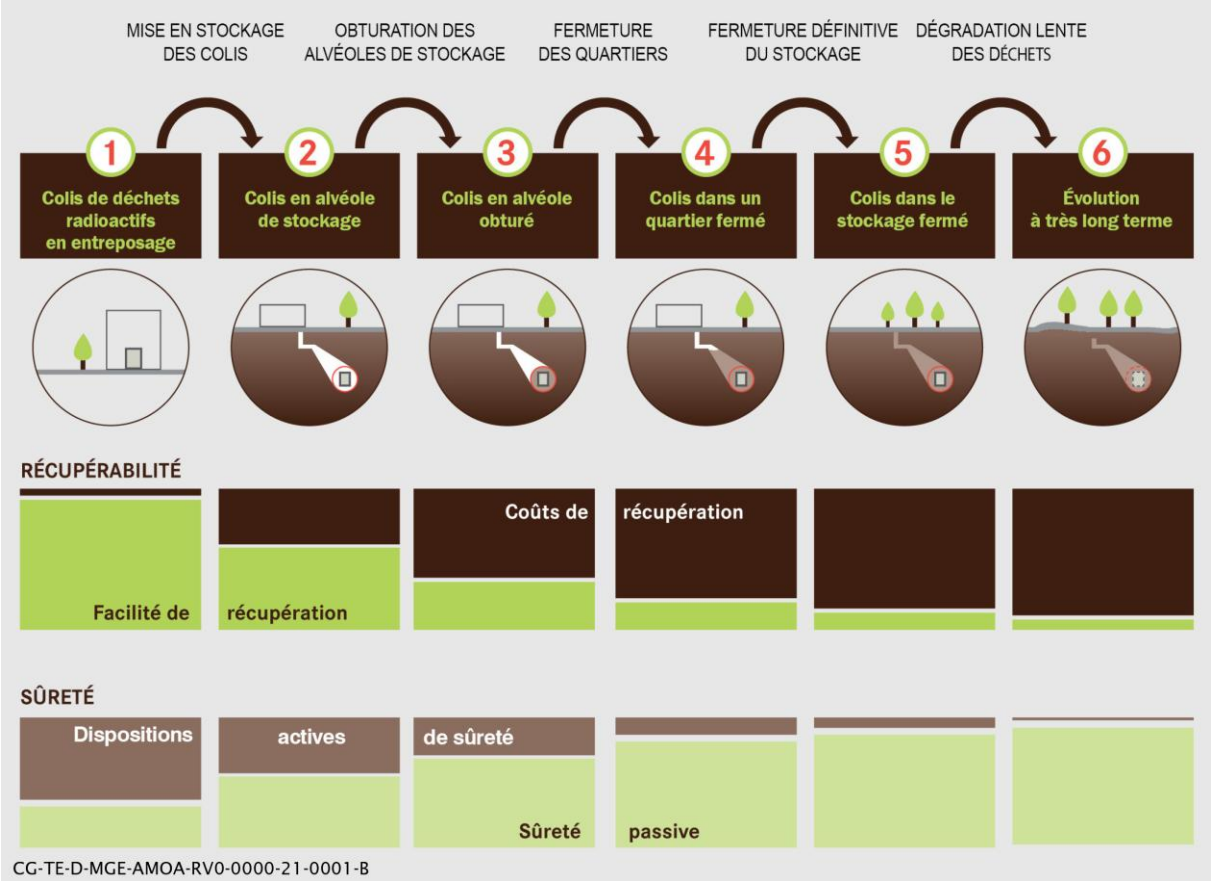



*Figure 1-2 Échelle internationale de récupérabilité (AEN)*

Cette échelle met en exergue le fait que la complexité (et le temps nécessaire) de récupération des colis est croissante au fur et à mesure que l'on atteint les phases avancées de fermeture du stockage (fermeture, post-fermeture), mais qu'en revanche les dispositions de sûreté passive deviennent prédominantes. Les générations futures pourront adapter et planifier les opérations de fermeture à leurs contraintes et aux décisions de politiques nationales relatives à l'inventaire (types de déchets, quartiers de colis de stockage plus ou moins grands, vitesse de remplissage plus ou moins rapide…). Elles pourront avancer progressivement vers une sûreté plus passive ou au contraire choisir de préserver une récupérabilité plus aisée, en particulier si des pistes alternatives au stockage venaient un jour à se concrétiser.

L'engagement des travaux de fermeture définitive (passage du niveau de récupérabilité de 4 à 5 selon l'échelle de l'AEN (cf. figure 1-2), que seule une loi peut autoriser, marque la fin de la réversibilité du stockage. Pour autant, elle ne marque pas la disparition soudaine de la capacité à en retirer les colis de déchets. Les données relatives aux colis et à leur emplacement dans l'INB resteront disponibles aussi longtemps que les archives seront conservées et constitueront une aide précieuse pour préparer une éventuelle opération de retrait.

Toutefois, au-delà de l'affirmation du principe qu'il ne sera jamais « impossible » de retirer des colis de déchets de l'INB, même dégradés, et que la capacité de retrait découle toujours du degré d'effort et d'investissement que la société sera prête à mobiliser pour ces opérations (coût financier, risques), il n'est pas réaliste, compte tenu des échéances lointaines envisagées, de présenter une analyse technique d'opérations de retrait après la fermeture définitive de l'installation.

**Le volume 13 « Récupérabilité » ne traite que du retrait des colis de déchets sur la période séculaire de fonctionnement de l'INB Cigéo, c'est-à-dire jusqu'au niveau 4 de l'échelle AEN.**

## 1.2 Scénarios de retraits étudiés

Le présent volume 13 « Récupérabilité » présente les dispositions retenues à la conception et les activités techniques à réaliser en regard des opérations éventuelles de retrait des colis dans l'installation nucléaire, avant et après les opérations de fermeture (obturation, remblayage et scellement) (NB : ces dernières sont définies la pièce 13 « Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance » (PDFS) (3)). Le présent volume 13 décrit les opérations de retrait hypothétiques et une esquisse des moyens et des dispositions d'exploitation envisagés. Il présente les éléments de justification des mesures conservatoires mises en place dès la construction, également décrites de manière synthétique au volume 5 du présent rapport, ainsi que les essais dédiés programmés (retraits dits d'exploitation).

Les dispositions conservatoires prises à la conception de l'INB et lors de la construction des ouvrages (dont les dispositifs de surveillance des installations) afin de faciliter ces opérations de réouverture et réduire les risques associés, en termes de sécurité pour le personnel, sont également abordées et justifiées dans la mesure où elles concourent à rendre le processus de retrait robuste.

Ce volume se focalise sur la description technique de la récupérabilité et la justification *ad hoc* associée de sa faisabilité qui s'appuie sur les études et les essais technologiques réalisés par l'Andra. La démonstration de sûreté liée à ses opérations hypothétiques de retrait de colis serait apportée, le cas échéant, si une telle décision de retrait de colis venait à être prise. Pour autant, l'intégration de dispositions facilitant le retrait des colis de déchets stockés dès la conception du stockage géologique est en soi une mesure forte contribuant à la sûreté des opérations de retrait en question.

Il existe une très grande multiplicité de scénarios envisageables pour le retrait des colis, à différentes phases de vie du stockage. Les scénarios de retrait étudiés sont considérés par l'Andra comme des hypothèses représentatives des différentes situations de retrait susceptibles d'être mises en œuvre, si une telle décision est prise. Le tableau 1-1 ci-après résume les différents types de scénarios de retrait en exploitation et hypothétiques des colis HA ou MA-VL et la nature des opérations associées, ainsi que les volumes de la version préliminaire du rapport de sûreté où ces scénarios sont traités.

*Tableau 1-1* *Rappel du traitement des scénarios de retrait des colis du stockage (cf. Volume 1 du présent rapport) dans les différents volumes du présent rapport*

| Type de scénario | Colis MA-VL | Colis HA |
|---|---|---|
| **Retrait en exploitation (alvéole en cours de remplissage), traité dans le volume 5 et le volume 9 du présent rapport (repris succinctement dans ce volume)** | Retrait d'un colis remonté à la surface (colis en stockage en conteneur et stockage direct) - colis non contaminé* | Retrait d'un colis remonté à la surface – colis non contaminé* |
| | Retrait de colis non contaminés* (une trentaine) transférés dans un autre alvéole, sous réserve de la disponibilité de ce dernier | Retrait de colis non contaminés* (un alvéole complet) transférés dans un autre alvéole, sous réserve de la disponibilité de ce dernier |
| **Retrait hypothétique (objet du présent volume)** | Retrait complet et réexpédition de tous les colis d'un alvéole MA-VL - alvéole au niveau 2- colis MA-VL non contaminés* | Retrait complet et réexpédition de tous les colis du quartier pilote HA – alvéole au niveau 2 – colis de déchets HA contaminés par des produits d'activation de l'acier |
| | Non poursuite du projet à l'issue de la Phipil – remontée de tous les colis MA-VL stockés - colis non contaminés* | Non poursuite du projet à l'issue de la Phipil – remontée de tous les colis de déchets HA contaminés par des produits d'activation de l'acier |
| | Ouverture des galeries et des alvéoles, retrait et expédition d'une famille MA-VL – alvéoles au niveau 4 (quartier fermé) - colis MA-VL non contaminés* | Ouverture des galeries et des alvéoles, du quartier pilote HA, retrait et expédition de tous ses colis – alvéole au niveau 4 (quartier fermé) - colis de déchets HA contaminés par des produits d'activation de l'acier |
| **Retrait hypothétique « sûreté/post-accidentel », (objet du présent volume)** | Retrait d'un colis MA-VL contaminé « manutentionnable » après fixation de la contamination (cas présenté dans le « Dossier d'options techniques de récupérabilité (DORec) » de 2016 (7) et reconduit) | Retrait d'un colis de déchets HA « manutentionnable » contaminé à la suite d'une altération localisée ou à une perte d'intégrité d'un conteneur voisin |

*Non contaminé* = en dessous des limites de contamination surfacique prescrites (soit 4 et 0,4 Bq/cm² respectivement en $\beta/\gamma$ et $\alpha$)*

## 1.3 Principes directeurs de la récupérabilité

La conception de l'installation souterraine doit permettre la récupération (le retrait) des colis une fois stockés dans leurs ouvrages de stockage pendant toute son exploitation, jusqu'à sa fermeture définitive, quel que soit le niveau atteint de fermeture partielle de l'installation.

Pour tous les scénarios hypothétiques considérés (cf. Tableau 1-1), les objectifs de récupérabilité sont de pouvoir retirer les colis des alvéoles de stockage et de les transférer, soit vers les ateliers nucléaires de surface situées dans la zone descenderie, de façon similaire à la mise en stockage (process inverse), soit vers un autre alvéole de stockage.

Deux possibilités de gestion sont envisagées pour les colis de déchets retirés :

- la remise en alvéole de stockage après un éventuel changement du conteneur du colis de déchets ;
- la préparation pour l'expédition vers un site des producteurs de déchets ou une autre filière de gestion. Cette expédition n'est pas abordée dans ce volume.

Compte tenu des conditions d'interaction du stockage et de la couche du Callovo-Oxfordien, l'évolution des ouvrages souterrains, à l'échelle séculaire du fonctionnement de l'installation de stockage nucléaire, est connue. L'apparition de désordres structurels rapides ou d'altération soudaine des structures accueillant les colis ou en permettant l'accès est exclue.

En effet, la déformation progressive des ouvrages, liée à leur mise en charge par la convergence des terrains, reste limitée à l'échelle séculaire. Elle est de plus surveillée sur toute la durée d'ordre séculaire du fonctionnement. Le comportement des ouvrages est prédictible sur cette durée et même au-delà ; il est surveillé dès la « phase industrielle pilote » (Phipil).

Le comportement durable des ouvrages sur toute la durée du fonctionnement de l'INB, qui est une des conditions principales pour assurer les opérations de mise en stockage en conditions sures, y compris pour les opérations de retrait, est donc surveillé en conditions réelles dès les premières années après leur construction.

Afin d'assurer la capacité à retirer les colis de leurs ouvrages de stockage sur une durée séculaire, les principes directeurs retenus sont les suivants :

- robustesse et durabilité des principaux composants constitutifs du stockage : maintien du confinement des colis de stockage (colis primaires en conteneurs ou colis primaires stockés directement), alvéoles de stockage et équipements laissés en place dans les alvéoles après leur remplissage jouant un rôle lors des opérations de retrait ;
- intégration à la construction des alvéoles de stockage de dispositions conservatoires facilitant les opérations de retrait ;
- surveillance des conditions ambiantes (thermique, hydraulique, chimique, radiologique) prévalant dans les alvéoles de stockage et les galeries d'accès. Cette activité de surveillance est exercée sur la période de fonctionnement et permet de connaitre l'évolution de l'ambiance et de l'état des colis et des ouvrages pour éventuellement adapter les opérations de retrait en cas de décision. En situation accidentelle, la connaissance de la déviation des conditions d'ambiance et du niveau de déviation concourt à la décision de retrait ou de maintien des colis en alvéoles (un état des lieux phénoménologique et un diagnostic technique sont dressés en préalable aux éventuelles opérations de retrait) ;
- activités de préparation d'opérations de retrait d'exploitation ou utiles à ces dernières (essais de récupérabilité de colis, contrôles, archivage et localisation, gestion des connaissances, mémoire) menées à intervalles réguliers et en particulier dès la Phipil ;

- opérabilité et disponibilité des équipements spécifiquement développés pour les opérations de retrait et vérification des performances de ces équipements dédiés aux retraits au moyen d'essais ;
- aptitude à la déconstruction des scellements et remblais des ouvrages souterrains (galeries d'accès et galeries de liaison).

L'amélioration continue des connaissances scientifiques et technologiques, et le retour d'expérience de la surveillance des structures et équipements participeront à la réévaluation périodique de la longévité prévisionnelle de l'installation en vue de son exploitation ainsi que des conditions et possibilités de retrait tout le long de la phase de fonctionnement tant que l'installation n'est pas définitivement fermée.

# 2

# La robustesse des choix de conception en lien avec la récupérabilité

2.1 Robustesse et durabilité des composants du stockage 18
2.2 Équipements de retrait des colis 38
2.3 Aptitude à la déconstruction des ouvrages de fermeture des galeries 52

# 2.1 Robustesse et durabilité des composants du stockage

## 2.1.1 Robustesse des colis primaires MA-VL mis en conteneur

Les conteneurs MA-VL sont présentés au volume 3 du présent rapport (les différents types de colis MA-VL sont décrits et illustrés au chapitre 2.2 de ce volume 3). La justification de la conception du conteneur de stockage MA-VL comprenant les exigences vis-à-vis du retrait fait l'objet de la note en référence (8).

Le conteneur MA-VL est de forme parallélépipédique. Il est constitué d'un corps et d'un couvercle. Il présente des réservations ajustées à la géométrie des colis primaires qu'il accueille et à celle des moyens de manutention associés. L'inventaire de référence retenu pour la conception et la démonstration de sûreté de l'INB au stade des études d'avant-projet retient un nombre important de familles (une soixantaine) de déchets de nature différentes (déchets métalliques, boues et concentrats cimentés ou bitumés…) et des conditionnements variés (fûts métalliques ou colis en béton). Les différentes familles de colis primaires MA-VL sont décrites dans le chapitre 1 du volume 3 du présent rapport.

Deux grandes typologies de conteneurs MA-VL sont définies, associées à des modèles de conteneur de stockage développés en regard des familles de colis primaires pour lesquelles le mode de stockage de colis primaires en conteneur de stockage est retenu :

- des conteneurs préfabriqués en béton armé avec cinq modèles de colis de stockage dits CS1 à CS5 ;
- des conteneurs en acier avec deux modèles de colis de stockage : CS6 et CS7.

Des réservations pour le passage des fourches des équipements de manutention sont disposées en partie basse pour les deux typologies de conteneurs.

### 2.1.1.1 Les colis de stockage MA-VL en conteneur béton

La constitution d'un colis de stockage MA-VL en conteneur béton avec ses différents constituants est illustrée ci-après pour un colis de type CS-3.

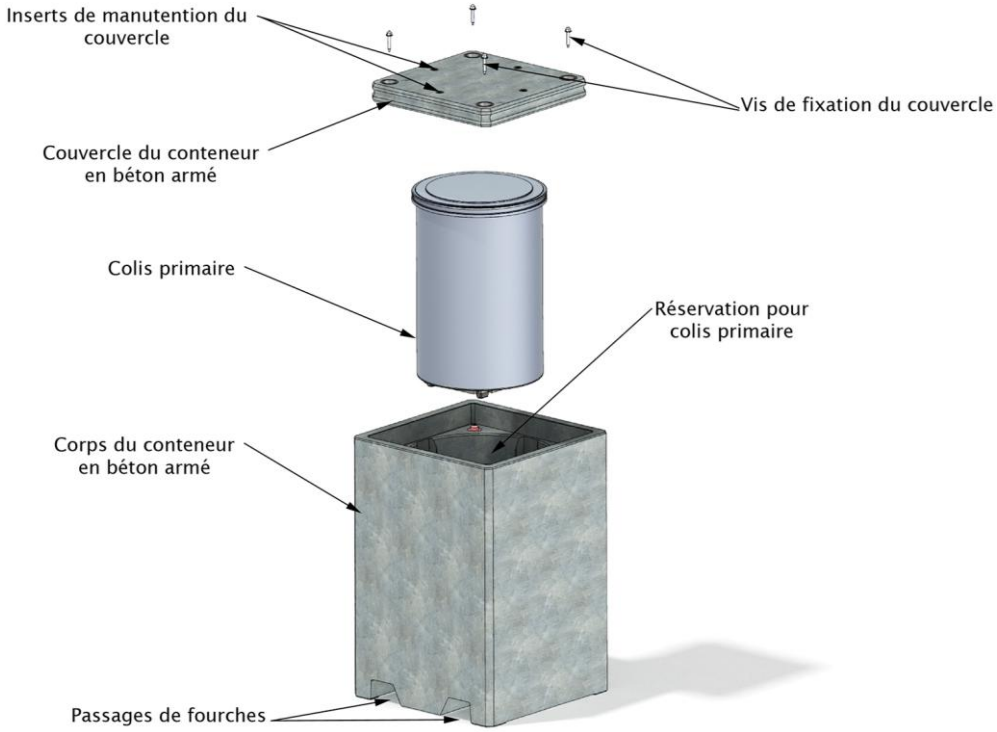



*Figure 2-1* *Les principaux constituants du conteneur de stockage : illustration du colis de stockage MA-VL de type CS3*

L'utilisation d'un béton de hautes performances, matériau reconnu pour la durabilité de ses propriétés, permet de satisfaire l'exigence de maintien de ses propriétés mécaniques sur la durée de fonctionnement et au-delà. L'ajout en supplément de fibres polypropylènes pour améliorer la tenue au feu des bétons utilisés pour les conteneurs recevant les fûts de déchets bitumés est retenu dans la formulation, en regard du maintien de la capacité de manutention du colis de stockage postérieurement à un incendie.

Le conteneur de stockage est dimensionné de manière que le colis de stockage soit manutentionnable par les systèmes de préhension mis en œuvre dans l'installation de surface, dans la cellule de manutention et dans la partie utile de l'alvéole. La géométrie du conteneur est adaptée pour permettre la manutention et le conteneur est dimensionné mécaniquement afin de résister à un endommagement éventuel durant les étapes de manutention. Ces exigences de géométrie et de tenue mécanique sont assurées durant toute la phase de fonctionnement et facilitent le retrait.

Le conteneur de stockage conserve sur la durée une tenue mécanique (endommagement limité, reprise de la fissuration par les armatures, etc.) compatible avec sa manutention durant toute la phase de fonctionnement de l'INB, y compris lors d'un éventuel retrait.

La tenue du conteneur est vérifiée au séisme (maintien de l'intégrité du colis primaire et de la capacité à manutentionner le conteneur à la suite de séisme).

Le conteneur de stockage en béton protège les colis primaires afin d'éviter la remise en suspension des particules radioactives contenues dans les déchets après un éventuel incendie.

Le colis reste manutentionnable pour permettre sa reprise éventuelle après un incendie.

### 2.1.1.2 Les colis de stockage MA-VL en conteneur en acier

Les conteneurs en acier CS6 et CS7 (cf. Figure 2-2) sont conçus afin de recevoir des colis primaires de grandes dimensions. Le choix de l'acier pour la conception de ces conteneurs est conditionné au respect du critère de masse de 17 tonnes associé aux capacités des engins de manutention du process nucléaire. Ce choix de l'acier permet d'optimiser les épaisseurs de matériau et la masse du colis de stockage, tout en respectant l'ensemble des autres exigences allouées aux conteneurs de stockage MA-VL recevant ces colis primaires de grandes dimensions.

Les colis de stockage MA-VL CS6 en acier sont mis en place dans un alvéole dédié sur un seul niveau à l'aide d'un chariot stockeur.

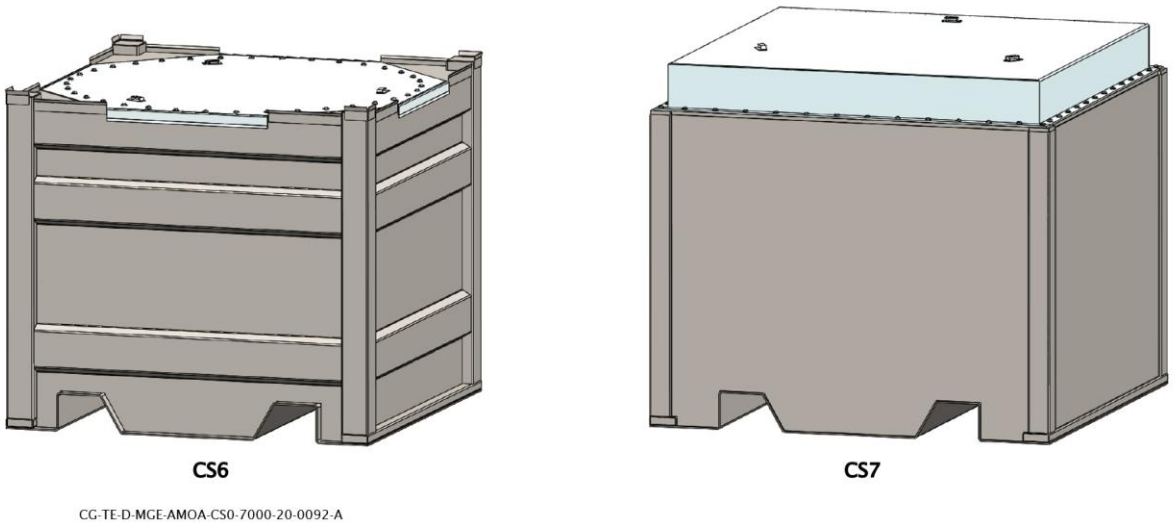



*Figure 2-2 Illustration de conteneurs de stockage en acier de type CS6 et CS7*

### 2.1.1.3 La durabilité des colis MA-VL en conteneurs béton

Par conception, la durabilité pour les colis de stockage MA-VL est d'ordre séculaire. Elle correspond à la période durant laquelle les colis sont susceptibles d'être repris.

Le béton des conteneurs de stockage conserve ses propriétés physiques et chimiques sur cette durée pour garantir le maintien de ses fonctions de sûreté et exigences sans devoir changer les dispositifs de manutention dans l'installation une fois le colis sorti de l'alvéole.

Le conteneur de stockage en béton devant conserver ses performances durant cette durée séculaire, il est tenu compte des conditions d'environnement du conteneur dans l'alvéole de stockage afin d'intégrer les éventuelles pathologies auxquelles il est soumis et de choisir les formulations et dimensionner le conteneur en conséquence.

Le retour d'expérience du génie civil et la normalisation permettent de définir les grands principes de développement des formulations des bétons et de dimensionnement des parois des conteneurs afin de créer des conditions favorables à la durabilité des conteneurs. Ainsi, les principaux éléments mis en œuvre sont :

- l'utilisation de bétons de hautes performances, qui assurent une compacité élevée du béton, une faible porosité et donc de faibles propriétés de transfert qui limitent la pénétration des agents agressifs ;
- le choix d'un enrobage des armatures acier d'au minimum 40 mm ;
- le choix d'un ferraillage et d'une visserie en acier non allié uniquement, pour éviter les risques de corrosion galvanique.

À cela se sont ajoutées des spécifications sur les constituants des bétons et les critères de formulations, également favorables à la durabilité :

- l'utilisation de granulats calcaires ou silico-calcaires, insensibles à la réaction alcali-silice ;
- l'utilisation de ciment PM-ES pour limiter la sensibilité aux attaques sulfatiques internes.

Les bétons sont ainsi qualifiés vis-à-vis des différentes pathologies auxquelles ils seront soumis (la carbonatation atmosphérique, la corrosion, la réaction alcali-granulat, l'attaque sulfatique, la réactivité des déchets, le comportement sous irradiation). La phénoménologie des différentes pathologies qui peuvent affecter le béton en situation de stockage ainsi que leurs conséquences sont détaillées dans le document « Les matériaux cimentaires » (9) et la fiche « Dégradation sous eau des matériaux cimentaires au sein du Callovo-Oxfordien » du « Recueil des fiches bilan scientifiques et techniques » (10)). Des informations sont également disponibles dans la note conceptuelle « L'évolution chimique des alvéoles MA-VL et du Callovo-Oxfordien en champ proche (après fermeture) » (11) .

De plus, les bétons des conteneurs et des revêtements des alvéoles confèrent aux aciers des armatures un environnement alcalin favorable pour ralentir les effets de la corrosion sur la période d'exploitation. Ainsi, les épaisseurs d'acier en fin de phase de fonctionnement restent suffisantes pour garantir les propriétés mécaniques des éléments de structure et le maintien de l'assemblage du conteneur.

#### 2.1.1.4 La durabilité des colis MA-VL en conteneurs acier

La durabilité, par conception d'ordre séculaire, des performances des conteneurs en acier est assurée par les conditions d'environnement prévalant au sein des alvéoles dédiées à ce type de colisage. En effet, la maîtrise des conditions ambiantes (par la ventilation traversante) permet de limiter l'humidité relative dans les alvéoles contenant des colis de stockage métallique à une valeur inférieure à 60 %. Ces conditions permettent de rester dans un domaine de corrosion sèche et de limiter les réactions de corrosion sur la période de fonctionnement.

Enfin les bétons des revêtements des alvéoles confèrent un environnement alcalin également favorable pour ralentir les effets de la corrosion sur la période d'exploitation.

Les colis de stockage MA-VL en conteneurs béton et acier ont une conception permettant de garantir la tenue mécanique du conteneur en cas d'incendie, en gerbage et de satisfaire le besoin de manutention sur la durée séculaire au cours de laquelle ils sont susceptibles d'être retirés du stockage, y compris après fermeture de l'alvéole et du quartier, au niveau 4 de l'échelle de récupérabilité.

### 2.1.2 Robustesse des colis primaires MA-VL en stockage direct

Les familles considérées pour tout ou partie en mode de stockage direct sont définies selon trois catégories :

- les familles pour lesquelles les éléments de connaissance (caractéristiques, comportement) et les éléments de démonstration de sûreté sont jugés suffisants. C'est le cas à ce stade des familles EDF conditionnées en C1PG$^{SP}$, des familles Orano conditionnées en CBFC'2 et CSD-C (catégorie MA-VL 5) et des familles CEA conditionnées en 500 L FI ;
- les familles pour lesquelles l'Andra a la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté nucléaire sera confirmée au moment de la mise à jour du rapport de sûreté établie en vue de la mise en service de la partie concernée de l'INB. C'est le cas à ce stade des familles CEA conditionnées en 870 L ;

- les familles de colis pour lesquelles le conditionnement est à définir (c'est-à-dire l'ensemble des colis ayant un état de production identifié avec un code « AD ») et sous réserve que leur conditionnement au moment de la demande d'avis (cf. Décision n° 2017-DC-0587, relative au conditionnement des déchets (12)) réponde aux critères spécifiés pour les colis de déchets MA-VL relevant du mode de stockage direct.

Pour être stockés directement, les colis MA-VL doivent satisfaire les spécifications d'acceptation associées, adaptées aux besoins correspondant à ce mode de stockage. De plus, deux fonctions supplémentaires peuvent être portées par le colis primaire stocké directement sans panier. Elles concernent la tenue à la sollicitation thermique et au gerbage.

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

La durabilité des colis stockés directement est favorisée par la maîtrise de conditions ambiantes (contrôle de l'hygrométrie et de la température notamment) favorables en alvéoles de stockage assurée par la ventilation traversante. Ces conditions d'ambiance limitent les processus de dégradation pendant la phase de fonctionnement.

La mise en œuvre du mode de stockage direct est prévue dès la mise en service de l'INB au sein des premiers alvéoles de stockage MA-VL pour les familles de déchets Orano conditionnées en colis primaires CSD-C et CBFC'2.

### 2.1.3 Robustesse des alvéoles MA-VL

La justification de la conception de l'alvéole de stockage MA-VL incluant les exigences vis-à-vis du retrait hypothétique fait l'objet de la note en référence (13).

L'alvéole MA-VL est un ouvrage souterrain de grand diamètre creusé dans la couche du Callovo-Oxfordien et d'axe horizontal (cf. Figure 2-3).

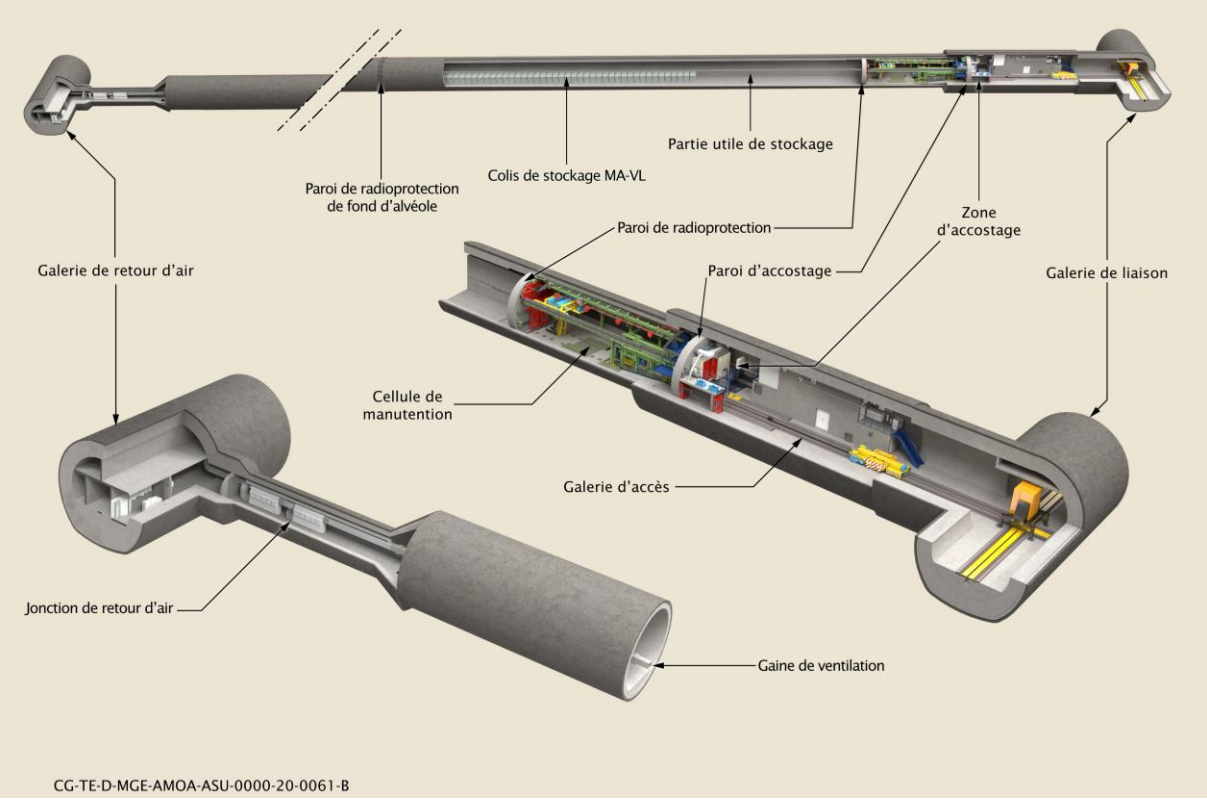



*Figure 2-3 Schéma de principe de l'alvéole MA-VL et de sa galerie d'accès*

Il est relié à la galerie de liaison par une galerie d'accès. Il est constitué d'une zone d'accostage de la hotte de transfert des colis de stockage MA-VL, d'une cellule de manutention de ces colis, d'une partie utile de stockage et d'une jonction (galerie de plus faible diamètre) de retour d'air (la ventilation de l'alvéole est traversante).

La cellule de manutention comporte, en phase de fonctionnement, tous les équipements nécessaires à la manipulation des colis MA-VL pour assurer leur mise en place dans la partie utile de stockage de l'alvéole dans le respect des exigences de sûreté.

La partie utile de stockage, d'une longueur de plusieurs centaines de mètres, a une géométrie adaptée à l'agencement et à la géométrie des colis qui y sont stockés (cf. Figure 2-4), tout en limitant le vide résiduel post-remplissage (un génie civil secondaire avec des faces planes est réalisé postérieurement à la pose du revêtement, dès la phase de construction).

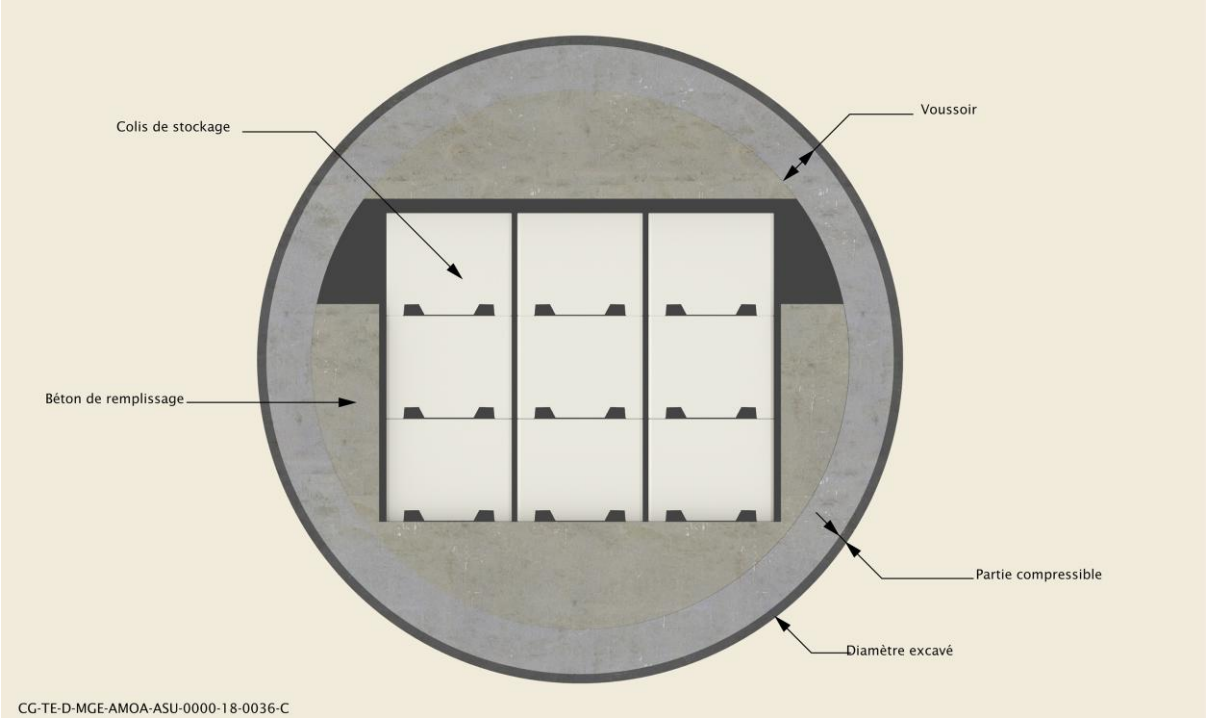



*Figure 2-4* *Illustration de l'agencement des colis de stockage dans la partie utile de l'alvéole MA-VL (exemple avec colis CS4)*

### 2.1.3.1 Les phases de vie de l'alvéole MA-VL en lien avec le niveau de récupérabilité

Les phases de vie de l'alvéole MA-VL sont la phase de construction, la phase de fonctionnement, la phase de démantèlement et fermeture et la phase de surveillance.

Le schéma de fermeture, proposé par l'Andra à ce stade, est d'obturer les alvéoles et de fermer le quartier dans la foulée, au même horizon temporel. Ces opérations seraient menées à différents stades du déploiement du stockage, pendant la phase de fonctionnement et pendant la phase de démantèlement et de fermeture. La proposition de l'Andra concernant les échéances des opérations de fermeture est indiquée dans la pièce 16 « Plan directeur de l'exploitation » (2).

Les niveaux de fermeture 2 à 5 de l'alvéole MA-VL sont synthétisés sur la figure 2-5.

**La récupérabilité des colis MA-VL est étudiée jusqu'au niveau 4 de l'échelle AEN de récupérabilité (*i.e.* Alvéole fermé dans un quartier fermé).**

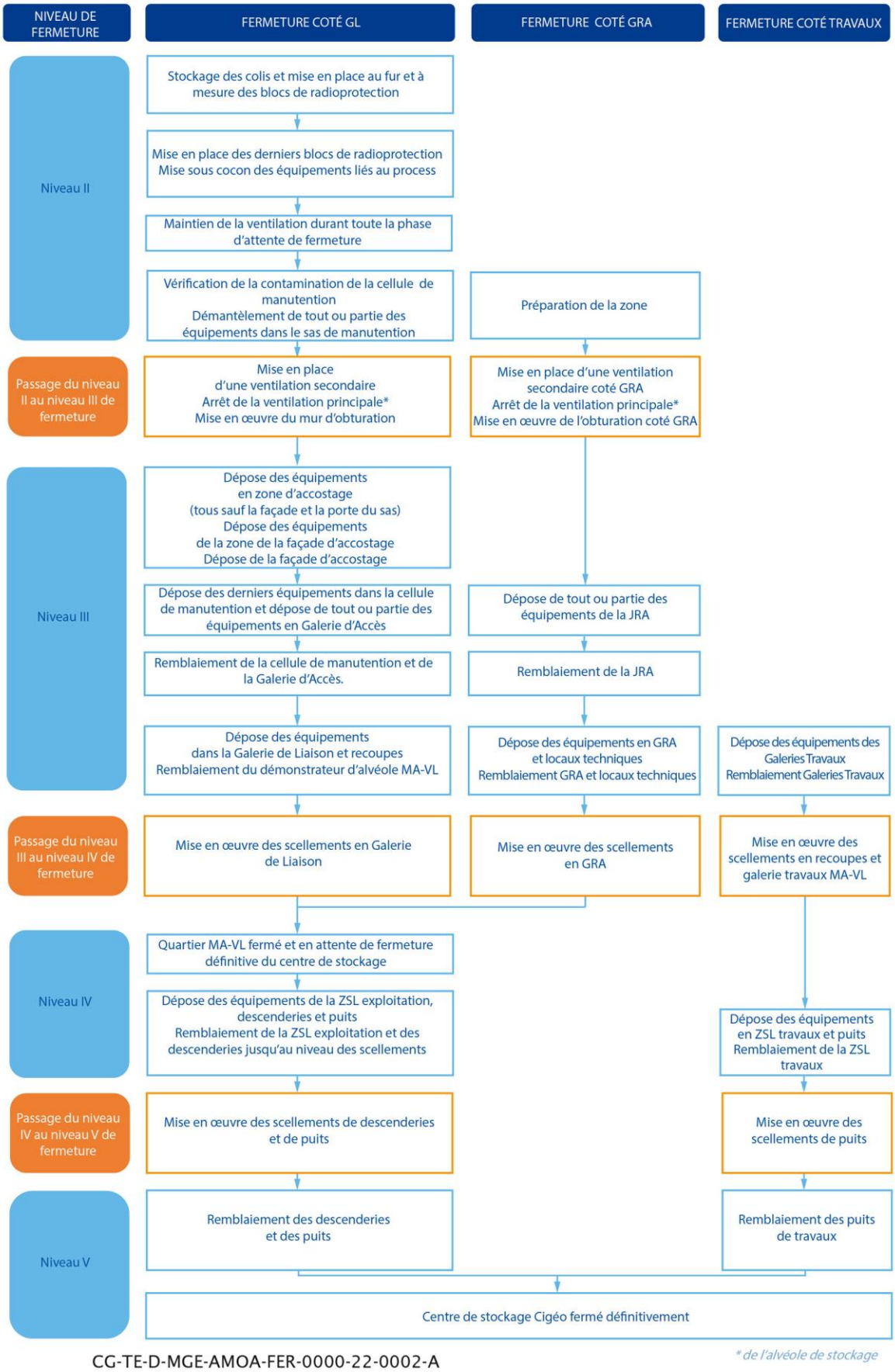



*Figure 2-5 Niveaux de fermeture 2 à 5 de l'alvéole MA-VL*

### 2.1.3.2 Éléments de conception concourant à la robustesse de l'alvéole MA-VL

La stabilité structurelle de l'alvéole MA-VL est assurée sur une période d'ordre séculaire, d'une part pour éviter la ruine pendant toute la phase de fonctionnement du quartier de stockage MA-VL, et donc le risque d'endommager les colis de stockage MA-VL et d'autre part pour permettre le retrait éventuel des colis qui y sont stockés.

Cette stabilité est conférée par un revêtement en béton. Dans le cas d'un creusement mécanisé, ce revêtement est mis en place rapidement derrière le front de taille. Il est donc soumis aux efforts induits par la décharge liée au creusement puis aux efforts induits par le comportement différé des argilites, tel qu'observé pour les ouvrages du Laboratoire souterrain. Pour réduire et retarder l'accroissement des efforts mécaniques sur le revêtement en béton induit par la convergence de la roche, un matériau compressible est ajouté à l'extrados du revêtement en béton, de manière à constituer un « revêtement compressible ». Ce principe de revêtement compressible permet à la fois de réduire les épaisseurs du revêtement et les diamètres excavés pour les diamètres utiles visés et d'accroître la durée de vie de l'ouvrage. Il contribue aussi notablement à la robustesse du dimensionnement des revêtements vis-à-vis des incertitudes relatives aux déformations différées de la roche à l'échelle séculaire.

Ce principe de revêtement compressible est également retenu pour les parties de l'alvéole et de sa galerie d'accès creusées en méthode conventionnelle (en tête et en fond d'alvéole).

En outre, des conditions de température et d'hygrométrie sont imposées dans l'alvéole en particulier le maintien d'une température inférieure à 65 °C dans les bétons de structure de l'alvéole y compris après arrêt de la ventilation. Ces conditions d'ambiance imposées limitent la dégradation physico-chimique du béton de structure de l'alvéole pendant la phase de fonctionnement et contribuent ainsi à sa tenue dans le temps.

La capacité à retirer des colis est étudiée en tenant compte du vieillissement de tous les constituants de l'alvéole sur une durée d'ordre séculaire et d'une potentielle contamination. En cas d'éventuelles déformations structurelles apparaissant au droit des galeries d'accès, des zones d'accostage et des cellules de manutention, l'accès direct à ces galeries permet leur réparation ou rénovation. En revanche, dans la partie utile des alvéoles (la partie irradiante), l'éventualité de déplacements différentiels des structures, susceptibles de rendre les opérations de retrait plus complexes que celles de leur mise en place, est prise en compte par le déploiement de dispositifs de surveillance (cf. Chapitre 2.1.4 du présent volume) et dans la conception des équipements mécaniques de manutention (cf. Chapitre 2.2.3 du présent volume).

Une fois l'alvéole fermé, la capacité à le rouvrir repose sur la gestion des gaz, la déconstruction des ouvrages de fermeture aux extrémités et la remise en configuration d'exploitation sûre de l'alvéole.

Les revêtements de la galerie d'accès et de l'alvéole MA-VL, dont la partie utile, sont dimensionnés de façon à en assurer l'intégrité structurelle sur la période de fonctionnement du stockage (ordre séculaire). La récupérabilité des colis de stockage MA-VL n'est donc pas obérée par l'évolution des chargements induits par le milieu géologique sur les revêtements des ouvrages de stockage ni par l'évolution physico-chimique ambiante qui reste maîtrisée sur la période et qui limite donc les effets de dégradation du béton.

### 2.1.3.3 État initial des alvéoles MA-VL

En amont de la mise en œuvre de la surveillance, comme état initial de cette dernière, il est prévu d'assurer la recette de l'ouvrage vis-à-vis des spécifications concernant :

- la qualité (formulation, aspect, géométrie) du béton et du matériau compressible des voussoirs ;
- la conformité de la géométrie : pente, orientation, côtes du génie civil intérieur, épaisseurs des composants, respect des tolérances notamment vis-à-vis de la planéité du radier de pose des colis et de la rectitude de creusement de l'alvéole, etc. ;

- le parallélisme, la rectitude et l'alignement des rails installés sur le génie civil secondaire et sur lesquels roule le pont stockeur (cf. Chapitre 3.1 du présent volume) ou le chariot-stockeur ;
- la qualité du béton du génie civil secondaire ;
- la qualité de liaisonnement entre composants du génie civil, de fixation des équipements mécaniques ;
- la qualité de mise en place des dispositifs de surveillance et leur bon fonctionnement.

Le contrôle de conformité et de qualité s'effectue lors de la réception de l'ouvrage, à chaque étape de construction puis d'aménagement et d'équipement de l'alvéole. Un contrôle de l'alvéole est enfin effectué avant la mise en place du premier colis dans l'alvéole, opération qui devrait avoir lieu de quelques mois à quelques années après la fin de sa construction et de son aménagement. Ce contrôle vise notamment à vérifier que les éventuels mouvements du revêtement et du génie civil intérieur restent dans le domaine de fonctionnement prévu de l'installation et n'affectent pas l'état mécanique ni la géométrie du radier ou des voies de roulement du pont (du chariot stockeur) servant à la mise en place des colis ou à leur retrait éventuel.

Les opérations de recette effectuées sur le génie civil de l'alvéole MA-VL (qualité des bétons et conformité géométrique de la construction) concourent à disposer d'un état initial de l'ouvrage favorable à l'emplacement et au retrait éventuel des colis et constituent une référence (« état zéro ») pour la surveillance.

### 2.1.4 Robustesse conférée par les dispositifs de surveillance des alvéoles MA-VL

Les principes directeurs et les dispositions de surveillance de l'installation souterraine sont décrits dans la note « La stratégie de surveillance de l'installation nucléaire de bas (INB) Cigéo » (14).

Différents dispositifs de surveillance et de suivi de l'évolution phénoménologique de l'alvéole et des colis de stockage MA-VL sont implantés afin de maîtriser les risques, dont ceux relatifs au maintien de la récupérabilité, en tenant compte du vieillissement des ouvrages et des équipements sur la durée de fonctionnement, des risques d'apparition d'une atmosphère AtEx et d'une potentielle contamination.

La surveillance du confinement des substances radioactives est assurée au niveau :

- de la ventilation (conditions d'ambiance) ;
- du génie civil assurant le confinement statique (en parois dont le voile en façade d'accostage).

La surveillance de l'environnement multiphasique gaz dans l'alvéole s'effectue par mesure à l'extraction de la ventilation de la concentration en gaz pour vérifier que la composition de l'atmosphère de l'alvéole reste compatible avec son domaine de fonctionnement vis-à-vis de la sûreté d'exploitation (AtEx) et vis-à-vis des exigences en lien avec la durée de vie des composants de l'alvéole (température, humidité). Ces dispositifs sont mis en œuvre en lien avec la ventilation qui contribue à la gestion des gaz dans l'alvéole.

La surveillance de la capacité à mettre en place et retirer des colis dont le maintien des jeux de manutention et la préservation de l'accessibilité aux colis, se décompose en trois sujets :

- accessibilité de la galerie d'accès/de la tête d'alvéole, accessibilité de la zone d'accostage, accessibilité de la cellule de manutention ;
- alignement des colis dans une pile, des piles de colis (intégrant les effets induits par l'évolution de la géométrie du radier et des rails de roulement) ;
- jeux fonctionnels le long de l'alvéole et état des colis de stockage (suivi de la géométrie de l'alvéole et de la déformation du génie civil secondaire).

Cette surveillance inclut aussi le suivi de l'évolution des contraintes au sein du revêtement et du génie civil secondaire en partie active qui permet de réévaluer régulièrement la durée de stabilité de l'alvéole.

La surveillance des alvéoles MA-VL est mise en œuvre dès la fin de la construction (lors de la recette), puis avant la mise en place du 1er colis, pour pouvoir détecter de manière anticipée d'éventuels dysfonctionnements en lien avec le comportement de l'ouvrage et les désordres éventuels induits.

La surveillance se poursuit ensuite pendant et après mise en place des colis à une fréquence à adapter dans le temps en fonction de l'évolution des phénomènes observés (exploitation de chroniques). Elle permet d'établir un diagnostic sur l'évolution de l'alvéole et l'état des conditions ambiantes, pouvant concourir à une décision éventuelle de retrait, et dans ce cas de disposer d'informations techniques pertinentes en préalable à l'établissement d'un plan d'intervention adapté.

## 2.1.5 Robustesse des colis de stockage HA

Les conteneurs HA sont présentés au volume 3 du présent rapport. La justification de la conception des conteneurs de stockage des colis HA incluant les exigences vis-à-vis du retrait hypothétique fait l'objet de la note en référence (15).

### 2.1.5.1 Description du colis HA

Les différentes familles de colis primaires HA sont décrites dans le volume 3 du présent rapport.

Le conteneur HA est conçu et dimensionné pour notamment assurer des fonctions de sûreté une fois le colis stocké dans son alvéole (de la phase de fonctionnement à la phase après fermeture long terme incluse). De forme générale cylindrique, le conteneur de stockage HA est illustré ci-dessous. Il est conçu et dimensionné pour être compatible :

- avec les colis primaires HA qu'il contient ;
- avec les installations et les moyens de manutention pour transférer les colis de stockage HA vers les alvéoles de stockage HA ;
- avec les moyens de manutention pour les opérations de mise en stockage et de retrait ;
- avec l'alvéole HA dans lequel il est stocké.




*Figure 2-6 Illustration du colis de stockage HA*




*Figure 2-7 Schéma de principe d'un colis de stockage HA*

Le conteneur de stockage est constitué d'éléments en acier noir et en céramique (patins).

La forme interne des couvercles, commune aux différents modèles de conteneurs de stockage HA, intègre une gorge de préhension, compatible avec les systèmes de manutention et de mise en place et de retrait des colis de stockage en alvéole.

Les conteneurs de stockage HA conçus pour accueillir ces différents colis de déchets HA primaires sont illustrés sur la figure ci-dessous. Il existe au total six modèles de conteneur de stockage avec des longueurs différentes.




*Figure 2-8 Illustration des différents colis de stockage HA*

Les colis de stockage HA sont stockés à l'horizontale dans des alvéoles d'environ 70 cm de diamètre et d'une longueur de 80 mètres environ pour le quartier pilote HA. Le déploiement des alvéoles HA du quartier de stockage HA s'appuie à ce stade sur des principes similaires à celui du quartier pilote HA en retenant une longueur d'alvéole de l'ordre de 150 mètres, sans préjuger des développements futurs relatifs à leur allongement (intégrant le retour d'expérience de l'exploitation du quartier pilote HA et des évolutions technologiques disponibles) qui pourraient être mis en œuvre d'ici sa mise en service envisagée à l'horizon 2080.

Le quartier pilote HA est destiné au stockage des colis de stockage CS14 (contenant les primaires moyennement exothermiques de type « R7/T7 froid ») tandis que les autres quartiers de stockage HA accueilleront tous les autres colis de stockage HA.

### 2.1.5.2 La durabilité des colis HA en conteneur acier

Le colis de stockage, composé du conteneur de stockage et des colis primaires, constitue le système de confinement pour le stockage des déchets HA en phase de fonctionnement.

Pour constituer le conteneur de stockage HA, il est retenu un matériau éprouvé pour lequel la connaissance de son processus de corrosion est maîtrisée. À ce titre, le choix de retenir un processus de corrosion généralisée au comportement à long terme en présence d'eau de formation prédictible a orienté le choix de l'acier noir.

Dans le cadre de la gestion réversible du stockage, la capacité du colis de stockage à être retiré du stockage pendant toute la phase de fonctionnement et de fermeture du stockage est préservée. Le conteneur de stockage est donc conçu pour que ses propriétés favorables au retrait soient maintenues, grâce aux dispositions suivantes :

- le matériau constitutif des conteneurs de stockage HA est disponible durant la période séculaire de fonctionnement et de fermeture en tenant compte d'un phénomène de corrosion généralisée ;
- le couvercle intègre une interface de préhension du conteneur de stockage, d'épaisseur suffisante pour maintenir sa fonction durant la phase de fonctionnement en tenant compte d'un phénomène de corrosion généralisée ;

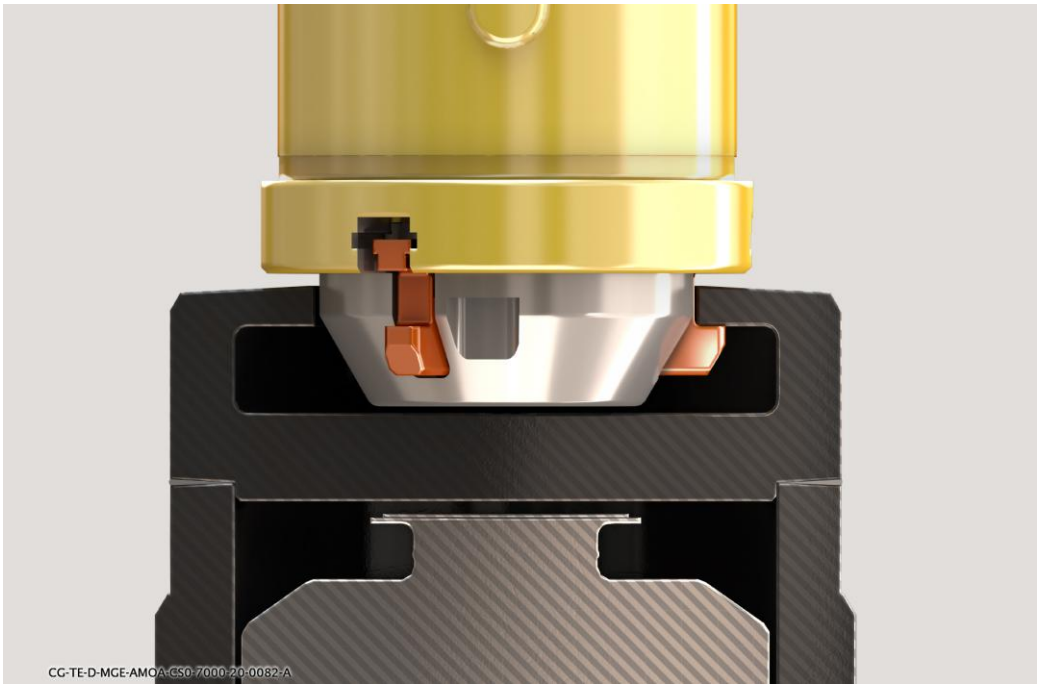



*Figure 2-9 Illustration de l'interface de préhension du colis de stockage HA*

- la soudure du couvercle sur le corps de conteneur est réalisée par soudage sous vide pleine pénétration par faisceau d'électrons. Cette procédure est qualifiée et confère à la soudure et à la zone affectée thermiquement des propriétés métallurgiques proches de celles du matériau constitutif du conteneur (des contrôles non destructifs sont prévus sur 100 % des soudures) ;
- les patins en céramique fixés sur le corps de conteneur de stockage évitent un contact direct de l'acier du conteneur sur le chemisage et le collage par corrosion. Par conception, la durabilité pour les patins en céramique est d'ordre séculaire.

Le conteneur de stockage HA constitue une barrière de confinement vis-à-vis du risque de dispersion des substances radioactives (gaz, aérosols et particules) en complément de celles jouées par la matrice vitreuse du colis primaire et son enveloppe. Cette barrière est efficace pour toutes les situations de fonctionnement normal et dégradé, incidentelles et accidentelles identifiées dans le bâtiment nucléaire de surface lors des opérations de transfert des colis de stockage jusqu'aux alvéoles de stockage HA, dans les alvéoles de stockage HA et lors des opérations de retrait des colis.

Le conteneur de stockage est conçu de telle sorte que sur toute la durée d'exploitation :

- le conteneur ne présente pas de déchirure. Ceci implique que la perte d'épaisseur provoquée par les phénomènes de corrosion de l'acier n'entraîne pas de perméabilité à l'eau ;
- la contamination surfacique externe soit inférieure à 4 $Bq.cm^{-2}$ pour la contamination bêta gamma, et inférieure à 0,4 $Bq.cm^{-2}$ pour la contamination alpha.

Le colis de stockage HA en conteneur acier a une conception permettant de garantir la tenue mécanique du conteneur. Sa fabrication lui permet de résister à la corrosion et de satisfaire le besoin de manutention sur la durée au cours de laquelle il est susceptible d'être retiré du stockage (période d'ordre séculaire).

## 2.1.6 Robustesse des alvéoles HA

### 2.1.6.1 Description de l'alvéole HA

La justification de la conception de l'alvéole de stockage de déchets HA notamment en regard des exigences de retrait fait l'objet du document cité en référence « Dossier de justification de la conception de l'alvéole HA » (16).

L'alvéole est conçu pour permettre le stockage des colis de stockage HA et satisfaire notamment les fonctions de sûreté.

L'alvéole HA est un micro-tunnel montant, avec une pente de 2 +/-1 %, de 80 mètres environ de longueur (quartier pilote HA) ou de 150 mètres environ (quartiers de stockage HA).

Le composant « alvéole HA équipé » (cf. Figure 2-11) comprend l'alvéole, son contenu (colis de stockage) et les équipements nécessaires à son exploitation.

L'alvéole HA comprend une partie utile destinée au stockage des colis de stockage HA et une tête d'alvéole intégrant les équipements d'exploitation et de fermeture de l'alvéole (cf. Figure 2-12).

Pendant la phase de fonctionnement, les colis puis le bouchon d'alvéole sont chargés dans l'alvéole et positionnés à leur emplacement de stockage par un robot pousseur.

Lors des opérations de fermeture décrites dans la pièce 13 « Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance » (3), les dispositifs de surveillance de l'alvéole HA sont arrêtés au fur et à mesure du remblayage de la galerie d'accès aux alvéoles.

À partir de ce moment, l'alvéole HA est complètement passif.

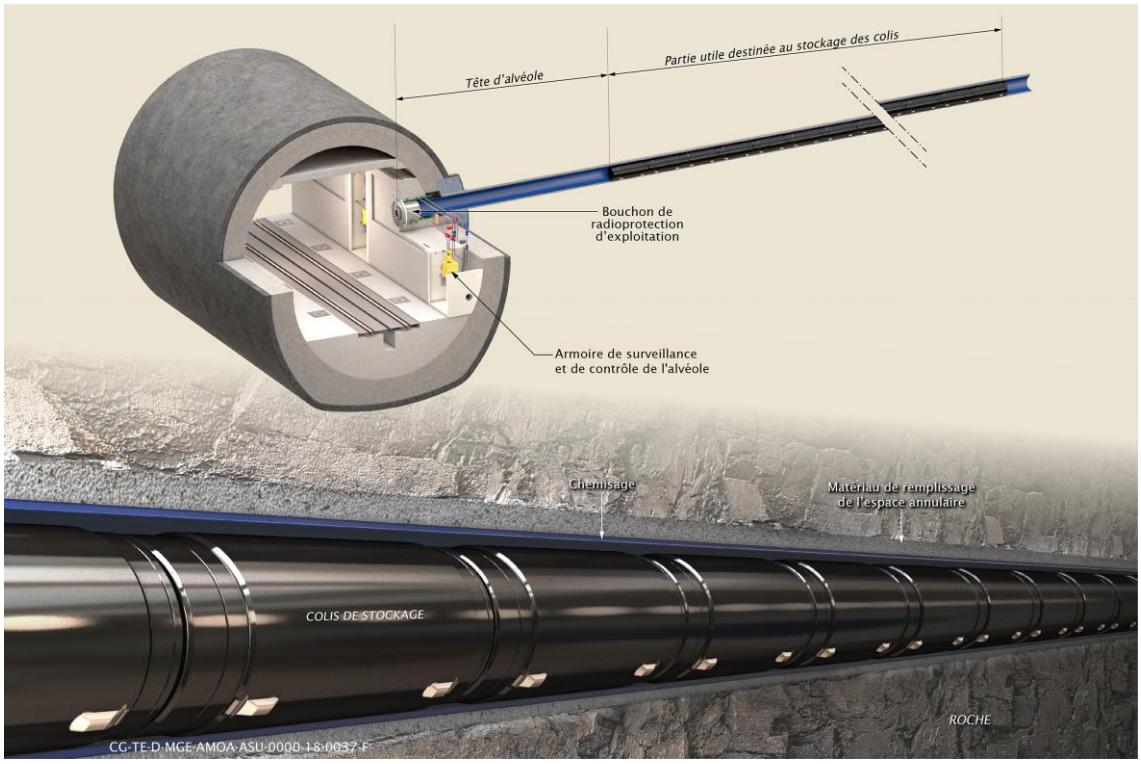



*Figure 2-10 Schéma de principe d'un alvéole HA en exploitation*

Les principaux composants de la partie utile de l'alvéole HA (cf. Figure 2-11) sont :

- le chemisage qui est le revêtement en acier de la paroi d'un alvéole de stockage ;
- le matériau de remplissage de l'espace annulaire (MREA) entre le chemisage et la couche du Callovo-Oxfordien ;
- les colis de stockage HA une fois l'alvéole chargé.

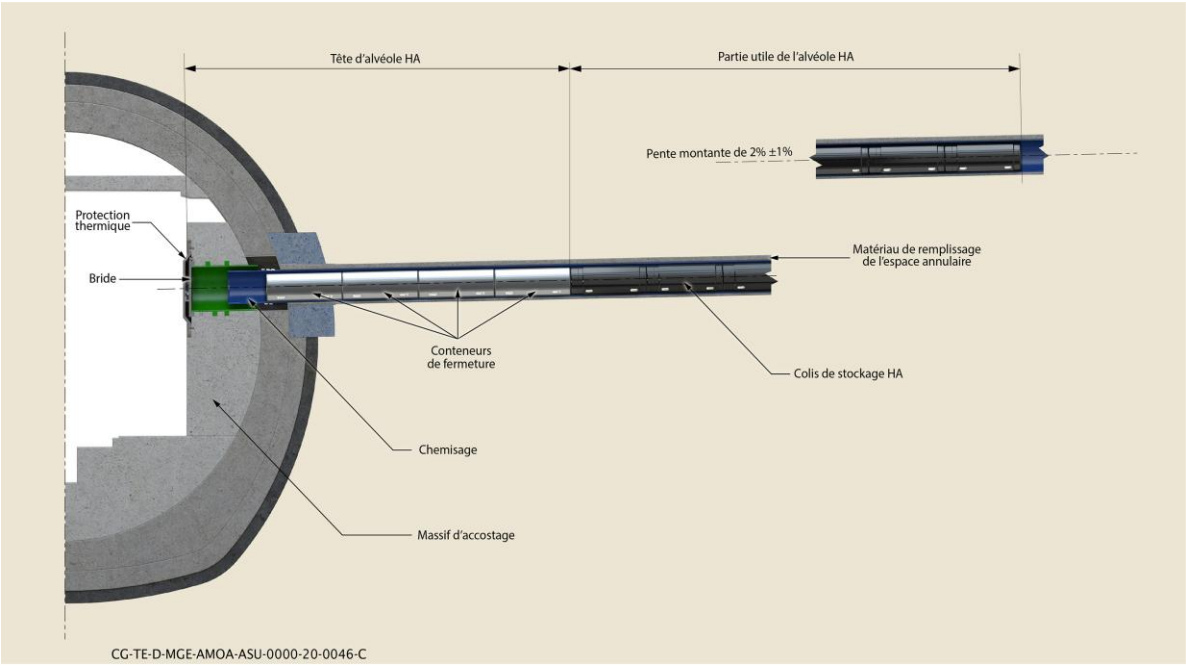



*Figure 2-11 Schéma de principe d'un alvéole HA en attente de fermeture*

Les principaux équipements d'exploitation de la tête d'alvéole (cf. Figure 2-12) sont :

- la bride métallique ;
- le massif d'accostage en béton ;
- l'équipement de gestion et de surveillance de l'eau (tube, siphon, vanne, etc.) ;
- les équipements de surveillance et de gestion de l'atmosphère interne de l'alvéole (balayage et prélèvement de gaz) ;
- l'armoire technique située dans la galerie d'accès qui comprend tous les équipements accessibles pour l'exploitation, la maintenance et la collecte des données ;
- le bouchon de radioprotection amovible permettant la mise en place et le retrait éventuel des colis de stockage dans l'alvéole (non représenté sur la figure) ;
- le bouchon d'alvéole de fermeture et de radioprotection de fin d'exploitation (alvéole rempli) ;
- les dispositifs de surveillance permettant de suivre l'évolution du chemisage (température, déformation).

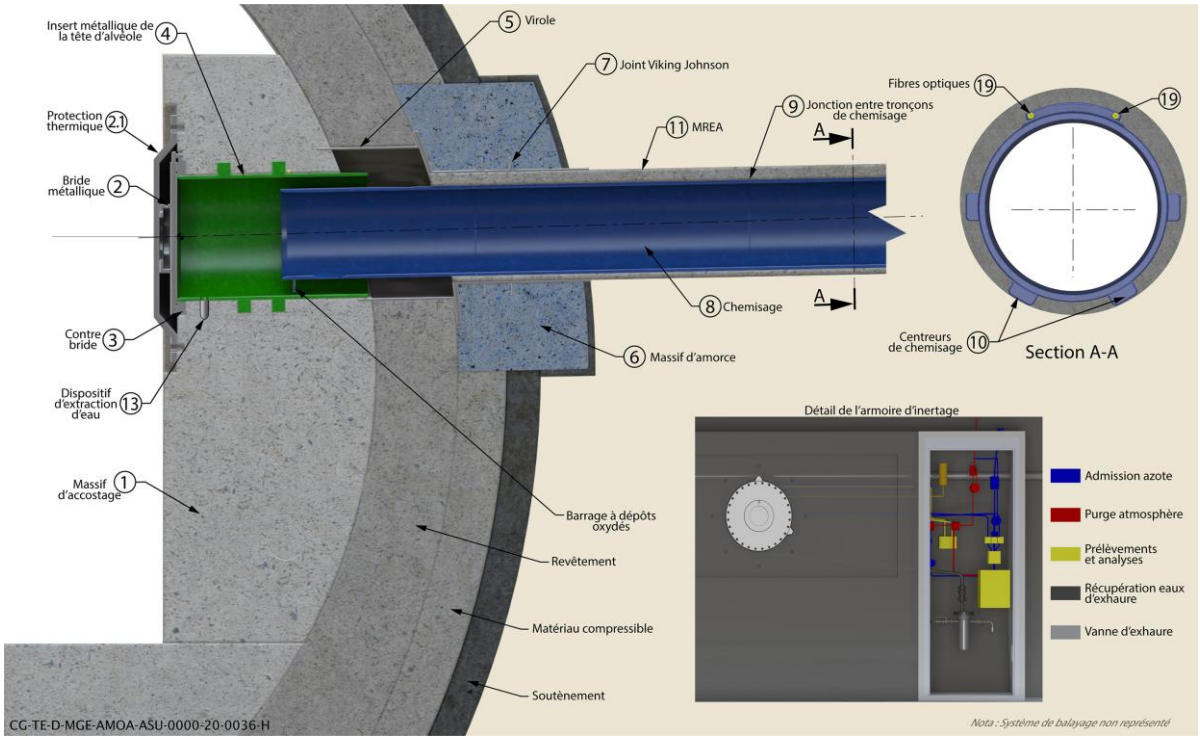



*Figure 2-12 Schéma de principe de la tête d'alvéole HA et de son armoire technique*

### 2.1.6.2 Phases de vie de l'alvéole HA

Les phases de vie de l'alvéole HA sont la phase de construction, la phase de fonctionnement, la phase de fermeture et la phase d'après fermeture.

Le schéma de fermeture, proposé par l'Andra à ce stade est d'obturer les alvéoles et de fermer les quartiers dans la foulée, au même horizon temporel. Ces opérations seraient menées à différents stades du déploiement du stockage, pendant la phase de fonctionnement et pendant la phase de démantèlement et de fermeture. La proposition de l'Andra concernant les dates de fermeture est indiquée dans la pièce 16 « Plan directeur de l'exploitation » (2).

Dans ce schéma de fermeture, tous les alvéoles d'un même quartier sont obturés et le quartier est fermé « dans la foulée » lors d'un même chantier.

Les niveaux de fermeture de l'alvéole HA sont synthétisés sur la figure 2-13.

**La récupérabilité des colis HA est étudiée dans le présent volume jusqu'au niveau 4 de l'échelle AEN de récupérabilité (*i.e.* Alvéole de stockage HA fermé dans un quartier fermé).**

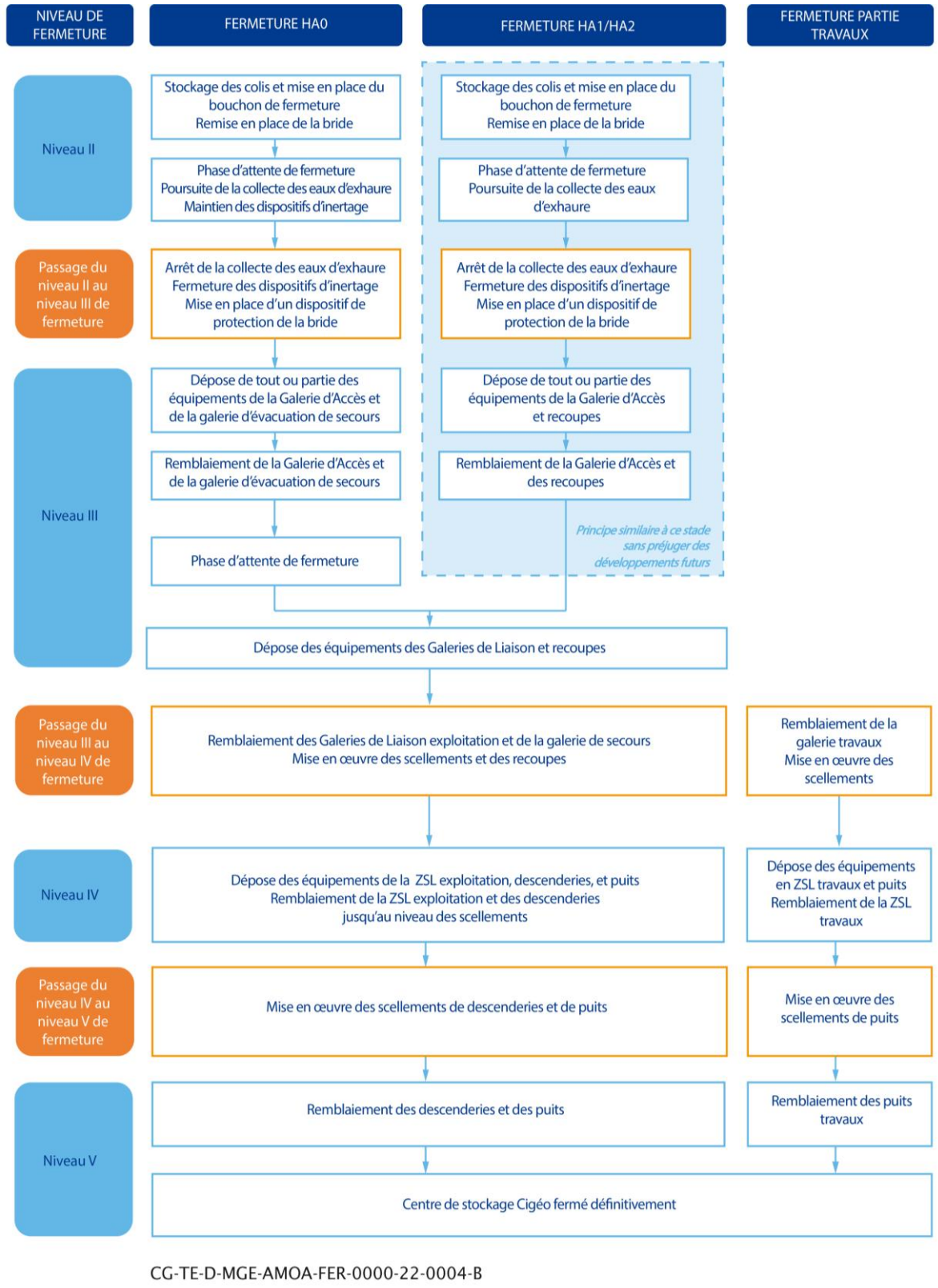



*Figure 2-13 Niveaux de fermeture 2 à 5 de l'alvéole HA*

### 2.1.6.3 Éléments de conception concourant à la robustesse de l'alvéole HA

Les principes de conception de l'alvéole HA concourant à la robustesse de l'alvéole HA et à faciliter les éventuelles opérations de retrait sont les suivants :

- choix de l'acier noir pour le chemisage et les autres composants métalliques de l'alvéole :

  L'acier noir (non allié) à bas carbone est retenu pour le chemisage de l'alvéole et les conteneurs de stockage car la corrosion de cette famille de matériaux, dans l'environnement du stockage, est essentiellement de type généralisé, et à ce titre prédictible (le dimensionnement de l'alvéole prend en compte cet aspect pour déterminer l'épaisseur du chemisage). La nuance d'acier (API 5L X65 « Sour services » ou équivalent), les procédés industriels de transformation éprouvés (en usage dans l'industrie pétrolière), la surveillance des fabrications et les processus qualité associés permettent d'assurer le niveau de qualité recherché ;

- choix du béton pour les massifs de la tête d'alvéole :

  Le béton armé est retenu pour les massifs de la tête d'alvéole car c'est un matériau de construction usuellement utilisé pour le soutènement et le revêtement des ouvrages souterrains, facile à mettre en œuvre, et dont le comportement est prédictible sur la période de fonctionnement considérée.
  À cette fin, une formulation de béton haute performance la plus adaptée à l'environnement du stockage est retenue ;

- maintien dans l'alvéole de conditions physico-chimiques favorables :
  - ✓ le maintien d'une atmosphère « faiblement corrosive et contrôlée » dans l'alvéole est assuré par un système asservi de mesure de la composition de l'atmosphère (ainsi que de sa température et de son humidité) et de balayage pendant toute la phase de fonctionnement de l'alvéole. Les risques d'apparition de produits de corrosion en grande quantité, susceptibles d'obérer les opérations de retrait, sont donc minimes ;
  - ✓ le drainage de l'eau du milieu géologique pénétrant dans l'alvéole HA, pendant toute la phase de fonctionnement est assuré, la pente ascendante de l'alvéole (2 %) favorisant son écoulement jusqu'au siphon et réduisant ainsi les phénomènes de corrosion en ambiance humide ;

- maintien du jeu de manutention autour des colis de stockage :
  - ✓ le chemisage soutient mécaniquement l'alvéole pendant la mise en place des colis de stockage et leur retrait éventuel pendant la durée séculaire de réversibilité, car sa déformation autorise la conservation, en dépit de la convergence du terrain et de la corrosion, de jeux fonctionnels suffisants entre le chemisage et les colis de stockage ;
  - ✓ l'évènement à l'origine de la consommation des jeux de manutention est la perte de stabilité mécanique du chemisage. L'épaisseur critique de flambement sous contact du chemisage est calculée pour une pression moyenne de 10 MPa (valeur maximale attendue en fin de période de fonctionnement). Sous un régime de corrosion généralisée homogène de vitesse ≤10 µm.an-1, le flambement du chemisage est attendu au-delà de la période de fonctionnement d'ordre séculaire, et la déformation par ovalisation demeure compatible avec la capacité à retirer les colis ;

- tenue au séisme de l'alvéole :

  Le génie civil des alvéoles de stockage HA (le massif d'accostage) et celui de la galerie d'accès (revêtement/soutènement) sont dimensionnés au séisme de dimensionnement (SDD), pour que ces ouvrages ne s'effondrent pas et ne constituent pas une agression potentielle des hottes et des colis en phase de fonctionnement sur une durée séculaire.

La conception de l'alvéole HA est robuste vis-à-vis des opérations de retrait de colis, car les matériaux choisis pour ses composants principaux (chemisage acier, massif de tête d'alvéole en béton) et les dispositions constructives (matériau de remplissage de l'espace annulaire, système de contrôle d'atmosphère) sont favorables au maintien de l'intégrité structurelle sur la période de fonctionnement séculaire et à une évolution phénoménologique maîtrisée.

## 2.1.7 Dispositifs de surveillance et d'exploitation concourant à la robustesse de l'alvéole HA

Les dispositifs de surveillance de l'alvéole HA facilitent les conditions d'exploitation en concourant à la sûreté des opérations. Ils sont les outils principaux permettant de suivre la phénoménologie (l'évolution dans le temps) de l'alvéole HA et de poser un diagnostic préalable à toute prise de décision en vue d'un éventuel retrait en exploitation ou hypothétique.

La durée de la phase de fonctionnement est prise en compte dans la conception des dispositifs de surveillance et d'exploitation comme un paramètre de dimensionnement vis à vis de l'ensemble des évolutions (chimiques, mécaniques...) qui pourraient se produire. Les composants pour lesquels il n'est pas possible de faire de la maintenance sont dimensionnés en conséquence afin de garantir leur performance sur l'ensemble de la phase de fonctionnement. Quand cela est possible, les équipements sont maintenus ou remplacés au cours du temps.

### 2.1.7.1 Recette de l'alvéole HA

Les principales spécifications dimensionnelles afférentes aux alvéoles HA faisant l'objet d'une recette à l'issue de la construction et qui concourent à la récupérabilité sont les suivantes :

- la longueur de 80 mètres (quartier pilote HA) à 150 mètres (quartier de stockage HA) ;
- la rectitude (inclinaison) caractérisée par une pente montante de 2 % ± 1 % en tout point de la trajectoire.

La rectitude de l'alvéole est le point le plus sensible pour évaluer si les conditions initiales de l'alvéole sont favorables à la récupérabilité. Le contrôle de la géométrie 3D du volume interne au chemisage vis-à-vis de sa rectitude (pente, absence de contre-pente, longueur…) permet de vérifier aussi le diamètre intérieur en tous points et d'évaluer ainsi l'espace annulaire (intrados du chemisage-extrados du colis) et donc le jeu fonctionnel disponible pour le passage du colis et du robot pousseur.

Ces relevés géométriques seront réitérés avant l'introduction du premier colis de stockage : la comparaison des résultats permettra de juger si l'évolution du chemisage (survenue pendant la période courante entre la date de recette de la construction et le début du remplissage) est conforme aux attentes et compatible avec la mise en place ou le retrait ultérieur éventuel d'un colis de stockage.

En complément, les essais de mise en service (de mise en place des colis) se faisant d'abord en inactif, un colis au gabarit du colis actif sera poussé jusqu'au fond d'alvéole puis retiré, permettant de vérifier physiquement la capacité de retrait en début de remplissage.

### 2.1.7.2 Équipement de surveillance de la température

La surveillance de la température dans l'alvéole HA pendant la phase de fonctionnement est assurée par une fibre optique fixée sur toute la longueur du chemisage, à son extrados. Sa mesure permet de déterminer la thermicité prévalant à l'intérieur et susceptible d'être rencontrée lors des éventuelles opérations de retrait et d'affecter le bon fonctionnement des dispositifs électriques et optiques des robots d'inspection ou de retrait.

### 2.1.7.3 Équipement de surveillance de la déformation du chemisage

La surveillance de la déformation du chemisage HA pendant la phase de fonctionnement est également assurée par une fibre optique fixée sur toute la longueur du chemisage, à son extrados. Sa mesure permet de déterminer le jeu disponible (espace annulaire colis-tubage) et susceptible d'être rencontré lors des éventuelles opérations de retrait. La surveillance de l'évolution du jeu fonctionnel entre les conteneurs de stockage et le chemisage est faite :

- pour le quartier pilote HA : dans deux alvéoles témoins (inactifs) mais chauffés pour être représentatifs de la thermicité des colis ;
- pour le quartier de stockage HA : dans deux alvéoles témoins chauffés (inactifs) par quartier.

Une mesure de déformation anormale (par rapport aux résultats obtenus par modélisations) peut conduire à une inspection de l'intérieur de l'alvéole et à une éventuelle décision de retrait.

#### 2.1.7.4 Équipements de surveillance et gestion de l'atmosphère d'alvéole

Ces équipements comprennent un dispositif de prélèvement qui permet l'analyse de la composition de l'atmosphère interne et, en cas de besoin, un dispositif d'inertage par balayage à l'azote est déclenché pour garantir le respect du critère de 1 % d'$O_2$. Le système de production d'azote est situé en galerie. Ce dispositif est utilisé en préalable à toute réouverture de l'alvéole lors d'une opération de retrait.

Les gaz extraits de l'alvéole (après le prélèvement pour analyse ou pendant le balayage) sont dirigés vers le système d'extraction logé en carneau de la galerie d'accès.

#### 2.1.7.5 Surveillance de la chimie de l'eau drainée

La surveillance de la chimie des eaux (eaux de condensation) susceptibles d'apparaitre dans l'alvéole et de s'écouler de façon gravitaire (grâce au pendage) vers la galerie est réalisée par récupération en tête d'alvéole et permet l'analyse :

- de la contamination de l'eau en lien avec la possible activation des produits de corrosion entrainés ;
- du pH de l'eau.

Le prélèvement périodique (fréquence à adapter au phénomène) est réalisé au niveau de la galerie d'accès. L'analyse est effectuée de façon différée en laboratoire de surface. Une évolution anormale des résultats de ces analyses (situation accidentelle) peut conduire à une décision de retrait.

Les dispositifs de surveillance de l'alvéole HA et de gestion de son atmosphère interne concourent à maintenir (rétablir) sur la période de fonctionnement des dispositions d'ambiance favorables aux éventuelles opérations de retrait et à disposer d'informations permettant l'établissement d'un diagnostic préalable à toute décision de retrait.

### 2.1.8 Dispositifs laissés en place après remplissage des alvéoles HA concourant à la robustesse de la récupérabilité

Dans les alvéoles HA, les équipements laissés en place avec les colis sont les équipements destinés à la radioprotection et à la fermeture de l'alvéole en tête d'alvéole, ainsi que l'ensemble des dispositifs installés pour la surveillance et le contrôle de l'atmosphère interne de l'alvéole qui sont arrêtés et démontés quand on passe au niveau 3 de la récupérabilité.

#### 2.1.8.1 Équipements de fermeture et de radioprotection

La figure 2-14 ci-après présente un alvéole HA rempli fermé équipé de son bouchon de radioprotection et de fermeture, constitué de quatre conteneurs. Le bouchon de radioprotection et de fermeture limite le débit de dose dans la galerie. Il est dimensionné pour pouvoir être manutentionné sur toute la durée d'exploitation de l'INB. Il est retiré lors d'une éventuelle opération de retrait des colis de stockage.

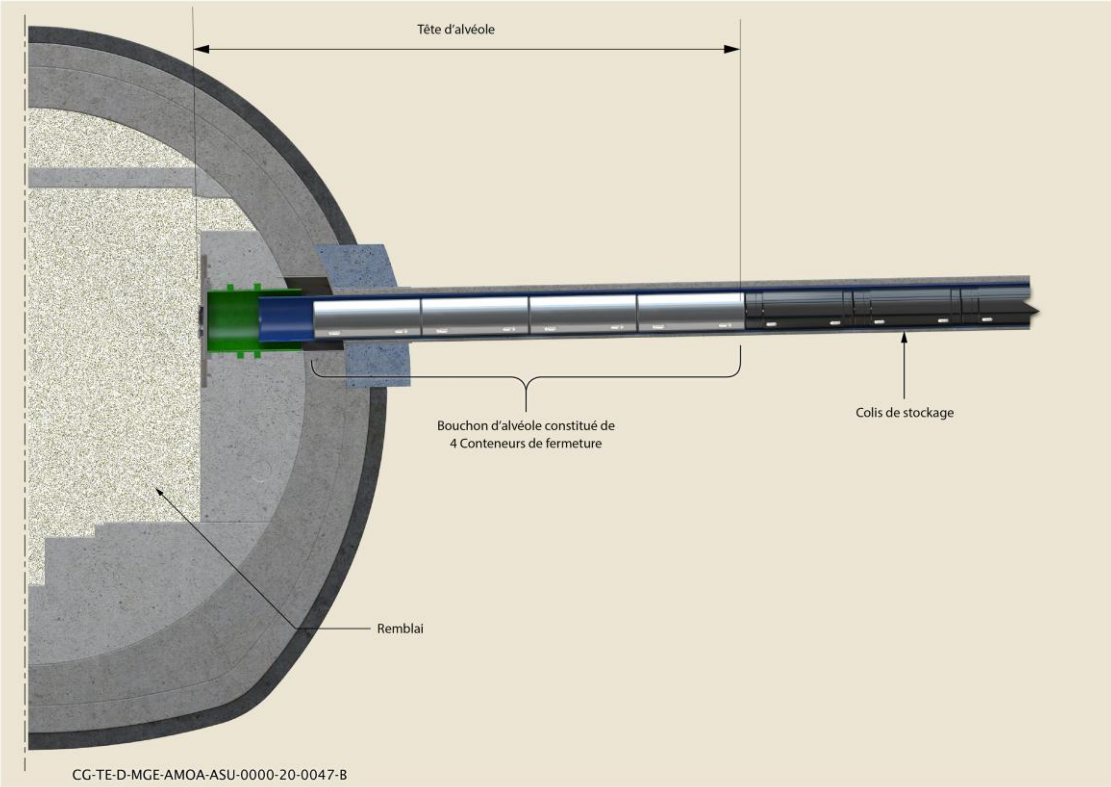



*Figure 2-14* *Schéma de principe de la tête d'alvéole HA avec son bouchon d'alvéole constitué de quatre conteneurs avec galerie d'accès remblayée*

Les conteneurs formant le bouchon de fermeture sont d'une géométrie très proche du colis de stockage HA et se mettent donc en place (se retirent) avec les moyens opérationnels prévus pour la mise en place des colis (leur retrait). Il est composé :

- d'une tête de préhension en acier destinée à la manutention verticale et horizontale du conteneur ;
- d'un berceau en acier de 18 mm d'épaisseur, équipé de quatre patins identiques à ceux des colis de stockage, destiné à assurer la rigidité de l'ensemble lors des opérations de manutention ;
- d'anneaux d'argile gonflante placés à l'intérieur du conteneur ;
- d'un capotage (plein ou crépiné) en tôle mince sacrificielle de 2 mm à 3 mm d'épaisseur destinée à empêcher l'arrivée de l'eau sur les anneaux d'argile gonflante pendant la durée séculaire de fonctionnement réversible de l'alvéole ;
- de quatre patins en céramique.

La tête de préhension du conteneur de fermeture est de nuance identique à celle des conteneurs de stockage et les tôles du corps et du fond de nuance API identiques à celle du chemisage afin que les phénomènes de corrosion étudiés pour le colis et le chemisage soient transposables aux conteneurs de fermeture et ne constituent pas une situation rédhibitoire lors des opérations de retrait sur la période séculaire.

Le bouchon de radioprotection et de fermeture de l'alvéole HA est d'une conception robuste vis-à-vis des opérations de retrait de colis. Son évolution phénoménologique est compatible avec les opérations de retrait envisageables sur la période séculaire d'exploitation.

Il est prévu de le retirer avec les dispositifs mécaniques conçus spécifiquement pour le retrait des colis HA, opération dont la faisabilité est établie sur la base des essais technologiques menés pour valider le bon fonctionnement de ces équipements.

#### 2.1.8.2 Système de fermeture complémentaire de l'alvéole HA

Une fois l'alvéole chargé et équipé de son bouchon de radioprotection et de fermeture, la tête d'alvéole est obturée au droit du massif d'accostage (en paroi de galerie) par une bride (apportant un complément de radioprotection aux travailleurs lors des opérations de remblayage de la galerie) et d'une plaque de protection thermique (cf. Figure 2-11).

La bride est fixée lors de la fermeture sur une contre-bride par un robot spécifique, qui en permet aussi la dépose en cas de retrait.

La plaque de protection thermique maintient l'intégrité de la bride et du bouchon en cas d'incendie survenant dans la galerie et donc les capacités d'intervention sur l'alvéole. Elle est posée/déposée manuellement à l'aide d'une potence ou d'un pont amovible. Cette plaque peut être retirée ou maintenue lors des opérations de remblayage des galeries d'accès (passage au niveau 4 de la récupérabilité).

## 2.2 Équipements de retrait des colis

### 2.2.1 Équipements de retrait des colis MA-VL

L'INB est conçue pour que le retrait (en scénario d'exploitation) des colis de stockage de l'alvéole MA-VL et leur introduction dans la cellule de manutention soient réalisés avec des équipements identiques à ceux qui ont servi à leur mise en place. Ces équipements et leur fonctionnement sont décrits dans le « Dossier de justification de la conception du process nucléaire souterrain » (17) qui traite du transfert et de la mise en stockage des colis MA-VL jusqu'à l'accostage et dans le « Dossier de justification de la conception de l'alvéole MA-VL » qui traite de la mise en stockage dans l'alvéole (13).

Il s'agit principalement :

- du pont-stockeur ;
- de l'élévateur de mise en place des colis au niveau de la nappe en cours de remplissage ;
- de la table de réception des colis MA-VL ;
- de la hotte de transfert.

Le processus de retrait (scénario en exploitation) se déroule en suivant les différentes étapes de la mise en stockage, mais en sens inverse. Des aménagements et/ou des adaptations de ces dispositifs mécaniques et des séquences de retrait sont possibles afin d'adapter les opérations aux situations rencontrées.

Par exemple (scenario hypothétique « sûreté/post-accidentel ») un contrôle de non-contamination par frotti est réalisé sur le colis de stockage MA-VL à l'aide d'un bras robotisé, dès l'arrivée du colis de stockage dans la cellule de manutention. S'il est contaminé, l'activité labile présente à sa surface peut être « fixée » sur le colis au moyen d'un équipement dédié. Cette opération est réalisée avant l'introduction du colis de stockage dans la hotte de transfert. L'objectif de cette opération est de préserver la propreté radiologique des locaux amenés à recevoir le colis de stockage MA-VL contaminé. La cellule de manutention dispose ainsi d'un espace réservé à cette opération où les réservations/les attentes pour les équipements de retrait sont prévues (cf. Figure 2-15 et figure 2-16).

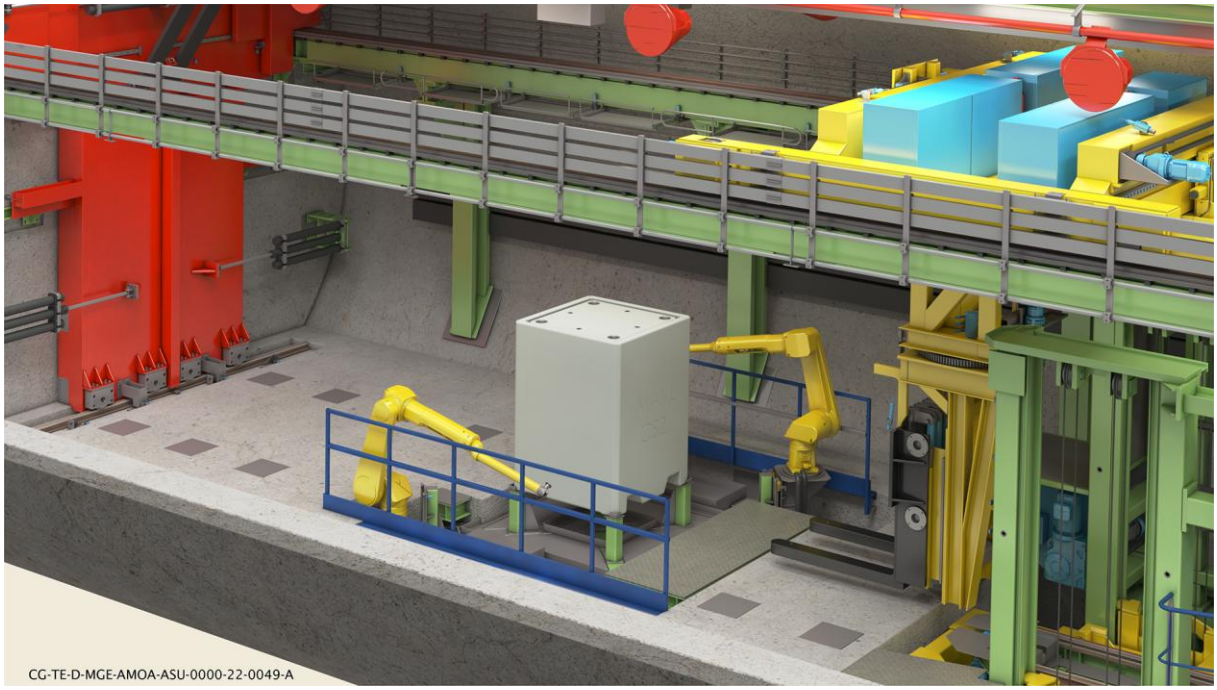



*Figure 2-15* *Illustration de la cellule de manutention MA-VL équipée des moyens de contrôle et de fixation de la contamination*

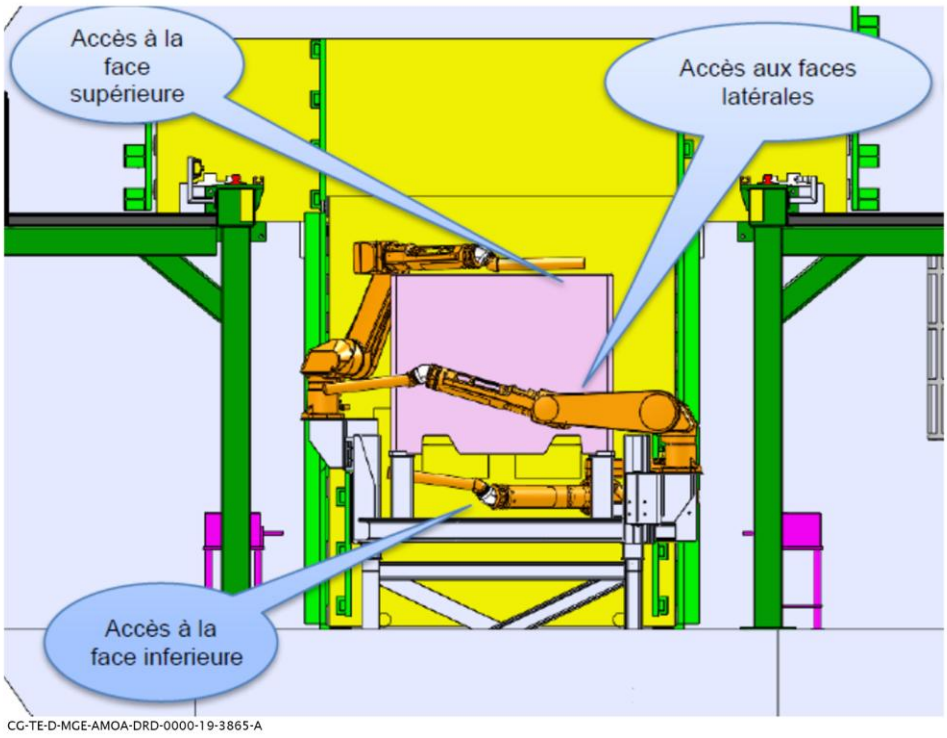



*Figure 2-16* *Illustration de l'espace réservé en cellule de manutention pour les robots de contrôle et/ou de fixation de la contamination*

Par ailleurs, l'Andra a développé un système de fourches orientables et télescopiques, adaptable sur le pont-stockeur pour prendre en charge des colis dans différentes positions (cf. Figure 2-17). La conception du pont-stockeur intègre dès son origine l'ensemble des interfaces nécessaires pour le montage éventuel du système de fourches orientables et télescopiques permettant le repositionnement ou le retrait d'un colis MA-VL.




*Figure 2-17* *Illustration du système à fourches télescopiques orientables pour repositionnement ou reprise des colis MA-VL*

La conception de la cellule de manutention en alvéole MA-VL intègre l'espace et les réservations nécessaires aux équipements permettant les opérations de détection et de fixation de la contamination surfacique éventuelle d'un colis MA-VL.

Le pont-stockeur est conçu pour recevoir un système à fourches télescopiques facilitant la reprise ou le repositionnement d'un colis dont la position n'est plus conforme à son positionnement initial dans la partie utile de l'alvéole, que ce soit en scénarios d'exploitation ou en scénarios hypothétiques.

### 2.2.2 Équipements de retrait des colis HA

Le retrait (en scénarios d'exploitation comme en scenarios hypothétiques) des colis de stockage de l'alvéole HA est réalisé avec des équipements différents de ceux qui ont servi à leur mise en place. Ces équipements et leur fonctionnement sont décrits dans le Dossier de justification de la conception du process nucléaire souterrain (17) qui traite du transfert et de la mise en stockage des colis HA et MA-VL.

Le retrait des colis de stockage, des conteneurs de fermeture et de radioprotection de l'alvéole HA est effectué par un robot de retrait, différent du robot-pousseur utilisé pour la mise en place des colis.

Ce robot de retrait est un robot automoteur qui progresse dans l'alvéole en tirant derrière lui un ombilical d'alimentation et un câble de halage. Arrivé au niveau de la tête de préhension du conteneur de stockage (du conteneur de fermeture), il s'y accroche par son interface de manutention. Puis l'ensemble « colis de stockage/robot de retrait » est tiré jusqu'à la tête d'alvéole au moyen du câble de halage par un treuil situé sur la hotte.

Le robot de retrait (cf. Figure 2-19) est composé principalement :

- d'un grappin de préhension pneumatique ;
- d'un corps portant un ensemble de « galets de roulement » et une motorisation connectée au treuil de halage ;
- d'un capteur de présence pour détecter le conteneur de stockage ou le bouchon de fermeture d'alvéole.

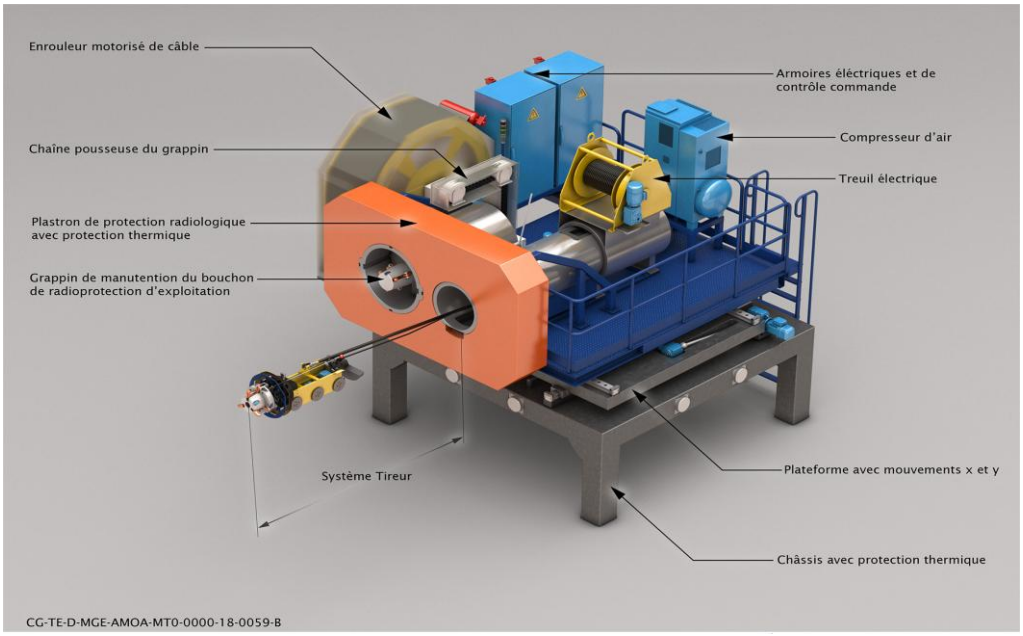



*Figure 2-18 Illustration de la hotte de retrait pour colis HA*

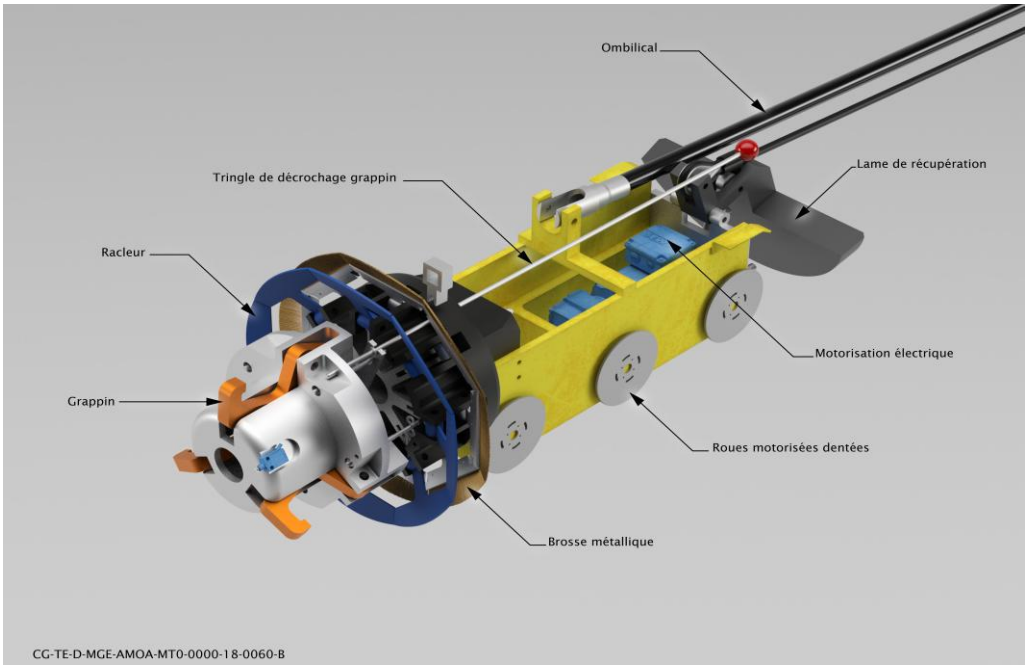



*Figure 2-19 Illustration du robot de retrait pour colis HA*

Le robot de retrait est introduit au niveau de la tête d'alvéole par une « hotte robot de retrait » utilisée spécifiquement pour le retrait. Celle-ci est munie des éléments nécessaires au fonctionnement du robot et au cycle de retrait. Cette hotte permet également de retirer temporairement le bouchon de radioprotection d'exploitation avant l'introduction du robot, puis de le remettre en place après récupération du robot. Une fois le colis de stockage tiré jusqu'à la tête d'alvéole, c'est la hotte de transfert des colis qui vient le récupérer et l'évacuer selon une succession d'opérations inverse à celles du chargement. La hotte robot de retrait est équipée des mêmes interfaces que l'ensemble des hottes, elle est manutentionnée par la navette HA.

Les conditions opérationnelles pour lesquelles le robot de retrait est dimensionné prennent en compte l'évolution attendue de l'ambiance interne des alvéoles HA sur toute la durée d'exploitation de l'INB (température, hygrométrie, corrosion surfacique des chemisages et des conteneurs).

**NOTE IMPORTANTE**

Le système de contrôle de l'atmosphère de l'alvéole (cf. Chapitre 2.1.6 du présent volume) contribue à ralentir les phénomènes favorables à la corrosion et à prévenir l'apparition de l'AtEx et ce jusqu'à la phase où l'on passe au niveau 3 de l'échelle de récupérabilité.

Enfin un système complémentaire, dit « de brossage de l'intrados du chemisage », pour le cas où les conditions d'environnement interne de l'alvéole seraient plus défavorables qu'attendues (accumulation de produits de corrosion, détectée par caméra ou dans les eaux d'exhaure) a été intégré au robot de retrait. Il a pour fonction de remettre l'intrados du chemisage d'alvéole dans un état d'environnement compatible avec le domaine de fonctionnement du robot de retrait et du dispositif de fermeture de l'alvéole. Les produits de corrosion sont collectés dans un conteneur-cendrier supporté par la hotte.

La conception des équipements de retrait des colis HA prend en compte des conditions ambiantes plus pénalisantes dans l'alvéole que celles prévalant lors des opérations de mise en stockage et tant que l'alvéole reste au niveau 2 de fermeture. Elle intègre le retour d'expérience des essais technologiques de retrait réalisés préalablement sur banc en surface qui ont validé le bon fonctionnement des dispositifs de retrait (cf. Chapitre 2.2.3 *infra* du présent volume).

## 2.2.3 Retour d'expérience acquis par la campagne d'essais technologiques de retrait réalisés par l'Andra

### 2.2.3.1 Introduction

L'Andra a engagé depuis 2008 des essais technologiques de mise en place et de retrait des colis de stockage HA et MA-VL sur des prototypes mécaniques de complexité croissante. Leur finalité est diverse : valider les principes mécaniques de retrait envisagé et développer/tester les équipements conçus et fabriqués à cette fin ; identifier les situations préjudiciables à leur fonctionnement, et, s'il en existe, mettre en œuvre des solutions palliatives.

Ce travail réalisé en surface, sur des prototypes industriels a permis de démontrer que la récupérabilité des colis de stockage est effectivement possible, dans des conditions d'environnement identifiées et caractérisées (état des conteneurs de stockage, état de l'alvéole) et pour des situations de mise en alvéole préétablies.

Les contraintes opérationnelles induites par le travail en milieu souterrain ont été prises en compte pour la définition des prototypes. Les essais menés en surface ont été effectués avec des maquettes de colis inactives. Les premiers essais de retrait sur de vrais colis de stockage ne seront réalisés qu'au cours de la phase industrielle pilote, dans le cadre des opérations prévues en préalable à l'obtention de l'autorisation de mise en service de l'INB.

### 2.2.3.2 Essais technologiques de retrait de colis de stockage MA-VL

Un programme d'essais de retrait de colis de stockage MA-VL a été mené en 2013 sur un banc d'essai en surface à l'échelle 1. Le retrait unitaire d'un colis de stockage a été réalisé par un dispositif spécifique de récupération : un système à fourches télescopiques et orientables, installé sur un chariot.

Le chariot élévateur a été retenu en tant que moyen de manutention du colis MA-VL afin de faciliter la réalisation de l'essai. Cet équipement a permis de tester la capacité du système à fourches à s'adapter à

différentes situations de retrait et d'obtenir des résultats représentatifs des conditions réelles. Un système à fourches orientables et télescopiques est ainsi intégré pour les opérations de retrait dans la conception du pont stockeur.




*Figure 2-20 Banc d'essais de retrait de colis de stockage MA-VL*

Les essais menés avaient pour but de tester la capacité à reprendre des colis de stockage, en particulier en cas de déplacement de ce dernier hors de sa position nominale. Un tel déplacement constitue une situation pénalisante pour le retrait, dont l'origine peut être liée à un dysfonctionnement du pont-stockeur (scenario d'exploitation) ou à un tassement différentiel du radier (scenario hypothétique).

Les positions des colis de stockage étudiées ont été établies à partir des configurations géométriquement possibles dans un alvéole plein, compte tenu des jeux présents.

L'étude des configurations de retrait a mis en avant divers positionnements de colis MA-VL à prendre en compte pour l'étude du moyen de manutention à fourches. Des cas envisageables de déplacement latéral ou de désaxage des colis ont été prédéfinis.

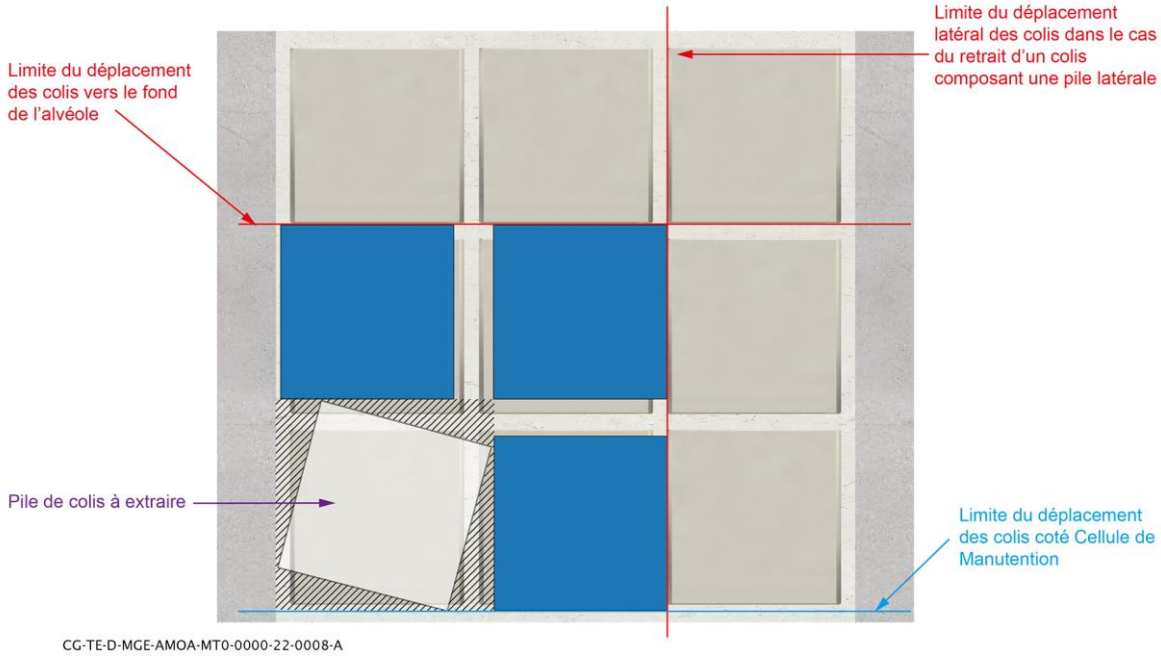



*Figure 2-21* *Ilustration du déplacement possible des colis en position latérale (vue de dessus)*

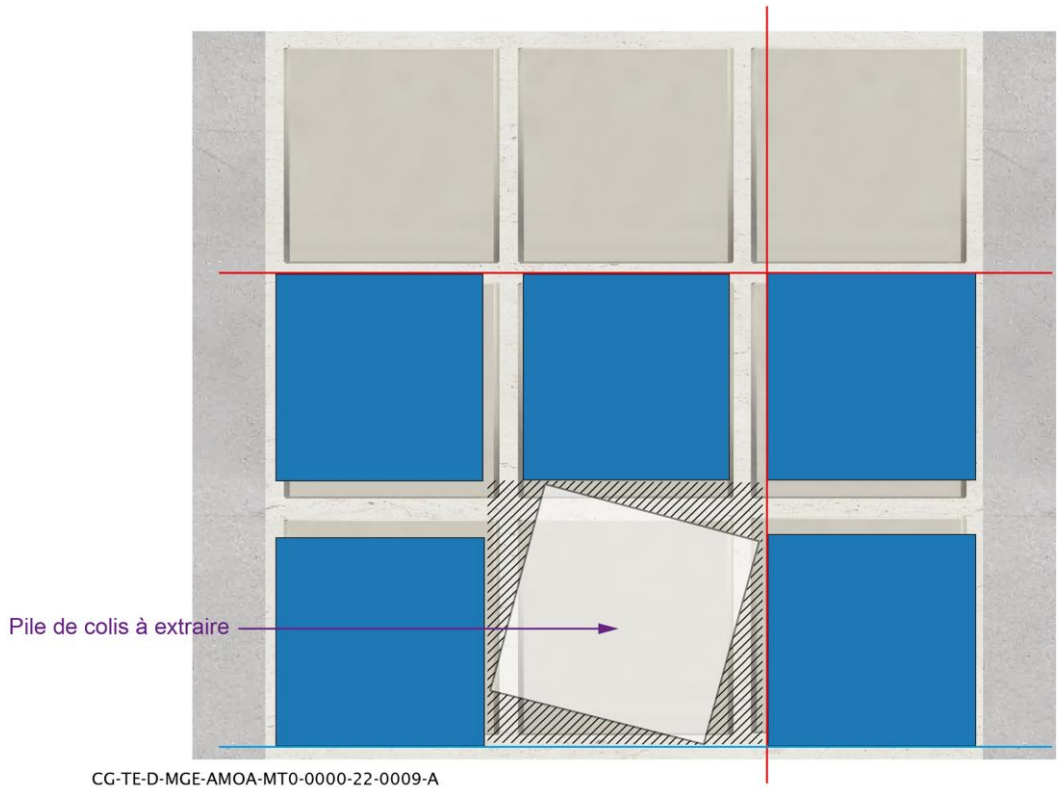



*Figure 2-22* *Illustration du déplacement possible des colis en position centrale (vue de dessus)*

Les essais technologiques ont permis de vérifier la capacité du système à fourches à soulever et retirer les colis MA-VL dans les positions suivantes :

- colis déplacés latéralement dans l'alvéole ;
- colis en contact, soit avec la paroi, soit avec un colis de la pile centrale ;
- colis ayant subi une rotation (sens horaire et antihoraire) du colis de 11°;
- décalage d'un colis de 300 mm par rapport au colis inférieur.

Le système conçu pour la détection du positionnement du conteneur facilite l'introduction des fourches du chariot de retrait dans les passages du conteneur (cf. Figure 2-23), alors que les fourches télescopiques permettent de « rattraper » un colis décalé par rapport au colis inférieur (cf. Figure 2-24).

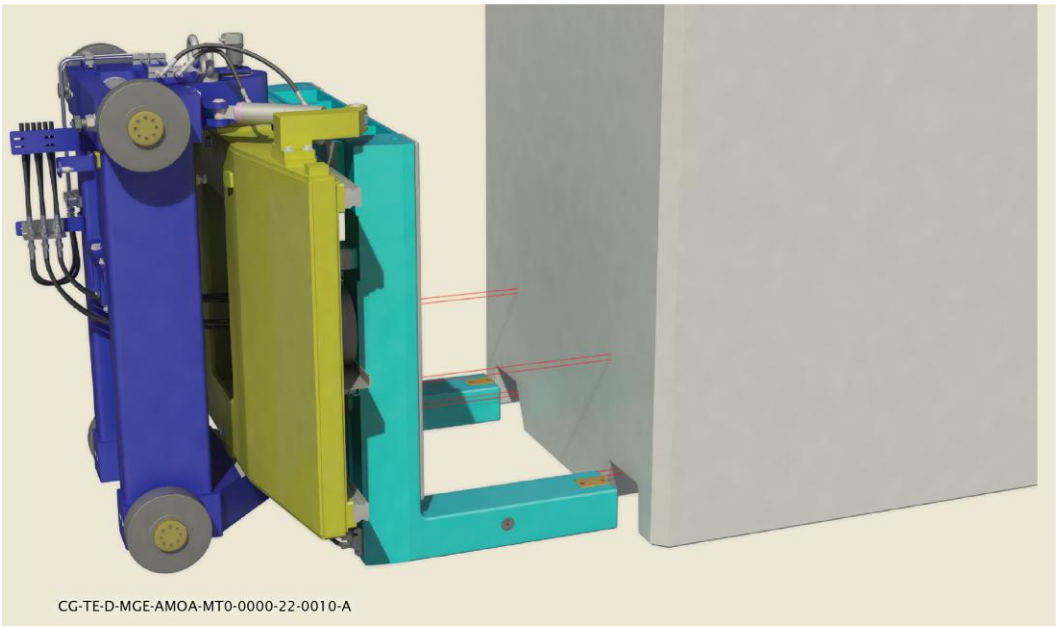



*Figure 2-23 Illustration du système de mesure d'orientation du colis*

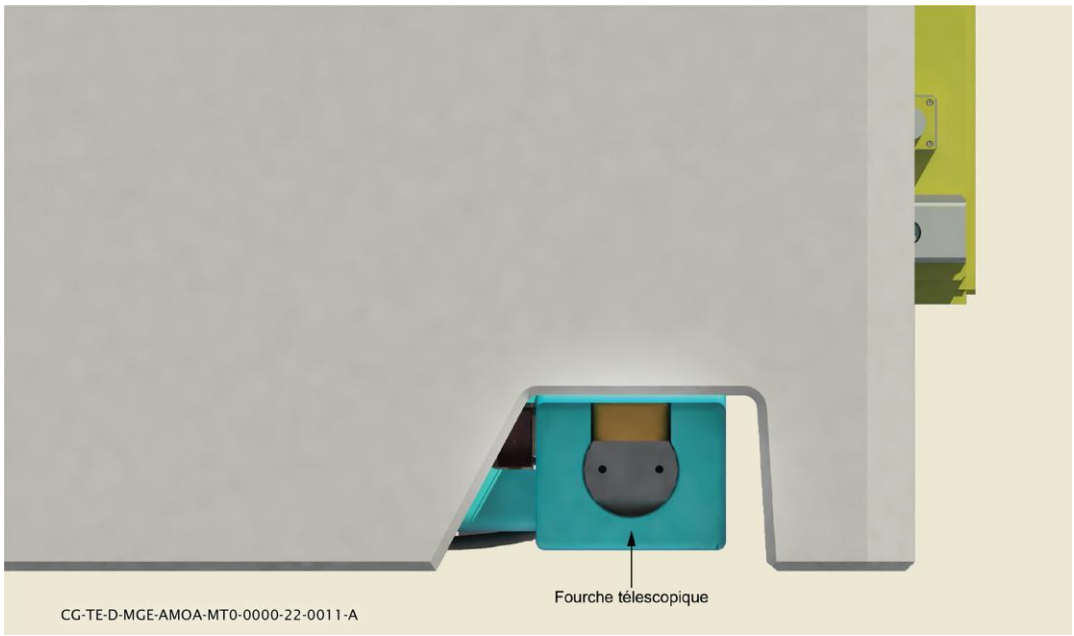



*Figure 2-24 Illustration de la fourche télescopique insérée dans son passage sous le colis*




*Figure 2-25 Test de récupération d'un colis MA-VL désaxé sur sa pile*

Du point de vue du process nucléaire de manutention, les essais technologiques menés sur banc en surface ont permis de confirmer la possibilité de retrait de colis de stockage MA-VL dans des conditions reproduisant des configurations de désalignement envisageables, compte tenu de la géométrie des colis de stockage, de l'alvéole MA-VL et des jeux fonctionnels disponibles.

La conception des équipements de retrait des colis MA-VL prend en compte ces conditions de configurations de désalignement. Elle intègre le retour d'expérience des essais technologiques de retrait réalisés préalablement.

### 2.2.3.3 Essais technologiques de retrait de colis de stockage HA

#### 2.2.3.3.1 Essais technologiques préliminaires

Dans le cadre du projet européen ESDRED, l'Andra a développé en 2008 un premier prototype de mise en place et de retrait des colis HA. Les essais de ce prototype ont permis de simuler et de valider :

- la faisabilité de la mise en place des colis poussés unitairement ou conjointement (jusqu'à trois colis de masse unitaire égale à deux tonnes) sur une distance de 100 mètres ;
- la capacité du système à fonctionner (mise en place et retrait de colis HA) avec une déformation géométrique simulée du chemisage de l'alvéole sur la même distance, avec les défauts (situation hypothétique) suivants :
  - ✓ passage d'une marche entre deux tronçons (jusqu'à 10 mm) ;
  - ✓ désalignement entre les tronçons (forme en S).

Ces premiers résultats confirment que le fonctionnement d'un robot automoteur est robuste et permet de pousser/retirer un colis HA dans un chemisage ayant subi des désordres (déboitements de tronçons créant des « marches » localisées), mais aussi dans un alvéole non rectiligne (par défaut de construction).




CG-TE-D-MGE-AMOA-MT0-0000-20-0065-B

*Figure 2-26* *Test de mise en place et de récupérabilité sur 100 mètres de longueur d'un colis HA dans un alvéole fortement déformé, à l'aide du « robot ESDRED »*

### 2.2.3.3.2 Essais technologiques de retrait spécifiques

Dans le cadre du programme des activités scientifiques et technologiques, une campagne d'essais spécifiques, sur banc en surface à l'échelle 1, permettant de tester la capacité de récupérabilité (de retrait) des colis stockés en alvéole HA et de mesurer les efforts induits par cette opération, a été menée (cf. Chapitre 4.6 du « Recueil des fiches bilan scientifiques et techniques » (10)).

Le moyen de manutention conçu pour ces essais, capable d'évoluer dans des conditions d'environnement sévérisées représentant un état d'évolution susceptible d'être rencontré dans un alvéole HA après plusieurs dizaines d'années de stockage (paroxysme thermique, corrosion, vapeur d'eau saturée et eau de condensation s'écoulant sur la génératrice de l'intrados d'un chemisage non étanche), a été mis en œuvre (cf. Figure 2-28).

Les conditions internes de l'alvéole reproduites pour ces essais étaient la température (de l'ordre de 90 °C à 95 °C) et une forte hygrométrie ambiante (vapeur d'eau saturée), l'épaisseur des produits de corrosion (sous forme d'écailles) obtenue sur le banc étant de l'ordre de 1 mm. La méthode utilisée pour générer la corrosion des conteneurs et du chemisage (brouillard salin) entraîne des conditions physico-chimiques *a priori* plus sévères que celles qui seront rencontrées dans le stockage sur toute la durée d'exploitation séculaire de l'INB, en particulier pour les alvéoles HA du quartier pilote HA, dont les colis ont une thermicité limitée. Le système de contrôle de l'atmosphère ambiante prévient ou diffère les phénomènes de corrosion et de production d'hydrogène, tant que l'alvéole est maintenu au niveau 2 de la récupérabilité. Il n'est pas envisagé de rencontrer les conditions d'ambiance imposées pour ces essais avant de se trouver au niveau 3 ou au niveau 4 de l'échelle de récupérabilité.




*Figure 2-27* *Banc d'essais de récupérabilité des colis HA (alvéole en température, avec vapeur d'eau condensée)*




*Figure 2-28* *Corrosion sévère du chemisage créée pour les essais de retrait de colis HA*

Le dispositif de retrait testé est un robot téléopéré, conçu pour évoluer dans cet environnement pénalisant le temps nécessaire pour parcourir la longueur de l'alvéole (aller) puis ramener le colis en tête d'alvéole (retour).

Ce robot de retrait est automoteur, arrivant au niveau du colis et s'y connectant, en tractant son ombilical d'alimentation et le câble du treuil de halage utilisé pour le retrait du colis.




*Figure 2-29 Robot de retrait en alvéole HA*

Arrivé à proximité du colis à retirer, le robot a montré sa capacité à se positionner au contact de ce dernier sans réaliser l'accouplement afin d'inspecter le colis au niveau de la gorge de manutention et d'en vérifier l'état visuel général (à l'aide d'une caméra), puis (une fois la vérification effectuée) à s'accrocher au colis par l'intermédiaire d'une pince-grappin prévue à cet effet. Le retour du robot et du colis a été réalisé par l'action d'un treuil de traction/halage relié au robot par un câble capable de reprendre les efforts de traction jusqu'à 10 tonnes (cf. Figure 2-29).

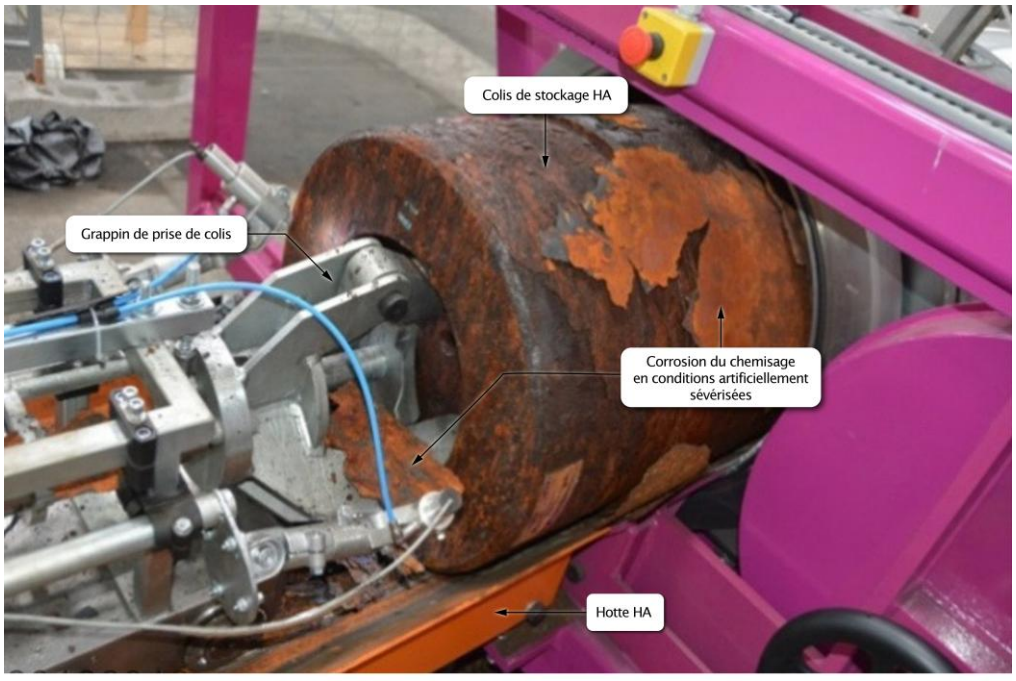



*Figure 2-30 Retrait d'un colis HA depuis un alvéole fortement enrouillé*

Les essais ont permis de définir les efforts de traction nécessaires au retrait du colis ainsi que de quantifier l'impact des produits de corrosion sur ces efforts (effet négligeable en comparaison des efforts de retrait mesurés dans un alvéole non corrodé).

Les tests ont également été source d'apprentissage et de retour d'expérience pour développer en avant-projet les dispositifs industriels de retrait susceptibles d'être mis en œuvre dans l'INB, en prenant en compte la problématique des motorisations électriques et des composants électroniques soumis à haute température et à l'humidité ambiante (conditions pénalisantes en sus des effets du rayonnement sur les composants).

L'expérience a également mis en évidence qu'en présence de produits de corrosion, un besoin complémentaire de préparation de l'alvéole en préalable au retrait du colis : nettoyage de l'intrados du chemisage pour récupérer avant retrait du colis HA le maximum de produits de corrosion susceptibles de représenter une gêne de fonctionnement de la chaîne cinématique et un obstacle à la remise en place du bouchon d'exploitation des alvéoles HA.

À la suite de ces premiers essais en présence de produits de corrosion, il a été développé (sur la base éprouvée du premier robot de retrait) un système de nettoyage de l'alvéole par brossage et raclage de l'intrados du chemisage. Les produits de corrosion détachés de la paroi de l'alvéole sont collectés dans un cendrier disposé en galerie au niveau de la hotte du robot de nettoyage.

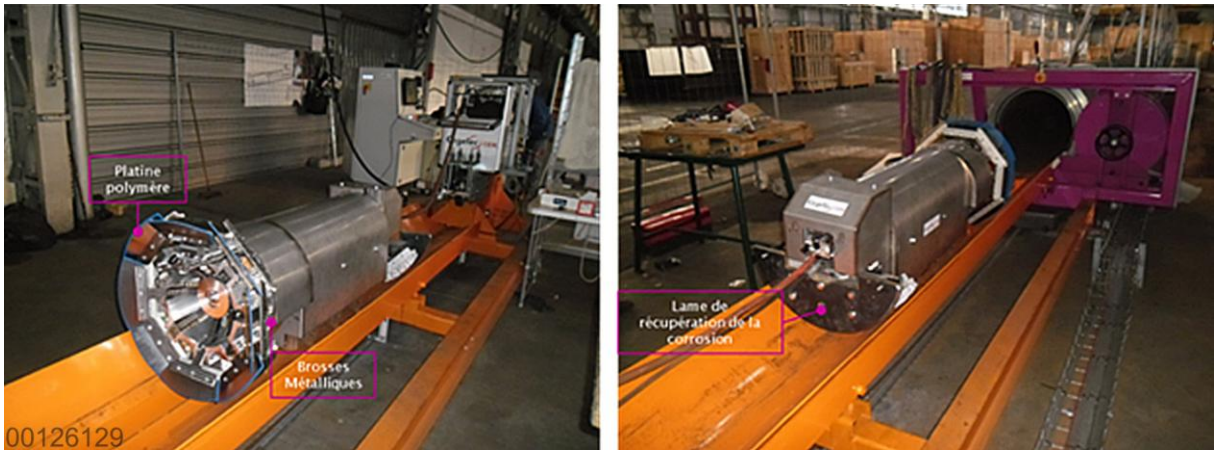



*Figure 2-31 Robot de nettoyage au banc avant introduction*

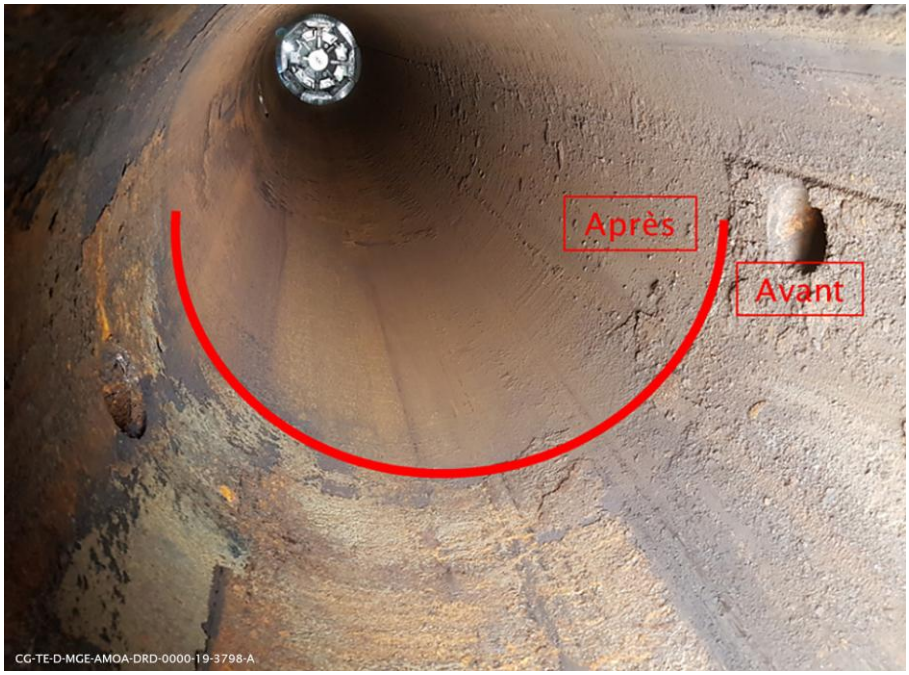



*Figure 2-32* *Effet du robot de nettoyage en intrados d'alvéole après un 1er passage du robot de nettoyage*



*Figure 2-33* *Collecte des produits de corrosion accumulés en tête d'alvéole HA après nettoyage du chemisage par le robot*

Les essais ont permis de valider le principe de fonctionnement du robot de nettoyage en conditions d'ambiance sévérisées, de démontrer la faisabilité du nettoyage et la performance du process pour disposer d'un volume résiduel de produits de corrosion négligeable dans l'alvéole et qui ne remette pas

en cause le retrait des colis HA. Un cycle de référence des opérations a été défini. L'ensemble du retour d'expérience de ces essais a été pris en compte dans la conception d'avant-projet de l'INB (le robot de retrait et le robot de nettoyage étant *in fine* « mutualisés » en un seul robot « nettoyeur-récupérateur »).

La conception des équipements de retrait des colis HA prend en compte des conditions ambiantes en alvéole plus pénalisantes que celles attendues sur la période de fonctionnement, lors des éventuelles opérations de retrait de l'alvéole.

Les dispositifs de retrait ont été préalablement développés et validés lors d'essais technologiques spécifiques avant d'être intégrés en conception. Ils concourent à la robustesse de la récupérabilité des colis HA, en scénarios d'exploitation comme en scénarios hypothétiques.

## 2.3 Aptitude à la déconstruction des ouvrages de fermeture des galeries

### 2.3.1 Introduction

Les opérations de fermeture rendent plus complexes d'éventuelles opérations de retrait des colis de stockage, en raison principalement des perturbations que les opérations de déconstruction des ouvrages de fermeture entraînent sur l'exploitation (création de chantier locaux, évacuation de déblais, ventilation, coactivité…).

Dans le cas où le retrait de colis de stockage serait décidé après la fermeture d'alvéoles et de quartiers, les premières opérations à réaliser seraient de déconstruire les ouvrages de fermeture partielle réalisés afin de rééquiper les galeries et les alvéoles pour permettre les opérations de retrait. Des analyses de risques spécifiques seraient menées en préalable à l'autorisation de mise en œuvre des opérations de déconstruction.

Les ouvrages de fermeture à déconstruire seraient (en passant progressivement du niveau 4 au niveau 2 de la récupérabilité) des scellements de galeries, des remblais de galeries et des dispositifs de fermeture d'alvéoles. Les portions d'ouvrages et les équipements concernés par une opération de réouverture devraient être reconfigurés pour remise en service temporaire, les parties rouvertes n'ayant pas vocation à être réutilisées pour un nouveau stockage.

À l'approche de la partie utile de l'alvéole, des moyens spécifiques d'investigation et de reconnaissance des alvéoles seraient mis en œuvre pour caractériser l'état des ouvrages (structure et conditions ambiantes) et des colis de stockage. Cette caractérisation est nécessaire pour établir un diagnostic général détaillé, valider les hypothèses retenues notamment pour l'évaluation de sûreté des opérations de retrait (vérification de l'absence ou non de contamination, vérification de l'état des colis de stockage…). Le rétablissement de la ventilation nucléaire sera aussi programmé.

### 2.3.2 Réouverture des galeries, déconstruction des remblais et scellements

La réouverture des galeries au niveau 4 de la récupérabilité débute avec l'évacuation des remblais en argilite en partie courante et la déconstruction des différents scellements situés dans les galeries de liaison.

La localisation des scellements de galeries, envisagée à ce stade, est présentée sur la figure 2-34 ci-après.

La justification de la localisation de ces scellements, ainsi que les options de conception et les solutions techniques retenues pour assurer le niveau de performance requis sont précisées dans le « Dossier de justification de la définition des ouvrages de fermeture » (18).

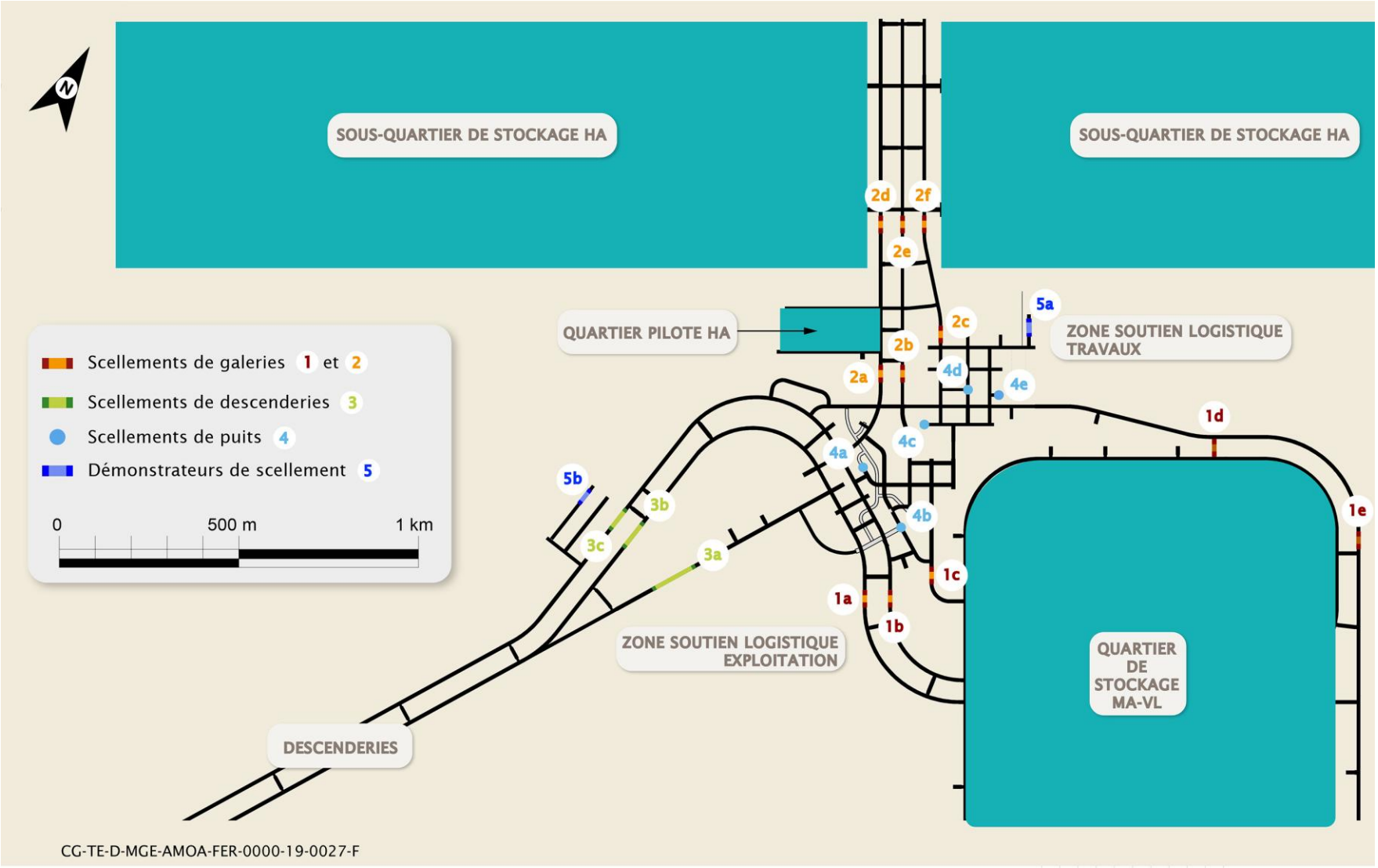



*Figure 2-34 Illustration de la position des scellements dans l'architecture souterraine de l'INB*

Les scellements des galeries sont, au stade actuel de la conception, composés de deux massifs d'appui en béton de plusieurs mètres d'épaisseur encadrant un noyau d'argile. Le long de ce noyau argileux, le revêtement de la galerie est déposé sur plusieurs tronçons de 1 mètre à 1,5 mètre de longueur afin de permettre le contact direct entre l'argile et les argilites du Callovo-Oxfordien (le radier aura été retiré au préalable).

En regard du développement progressif de l'INB et de la date lointaine de réalisation de la fermeture de l'installation souterraine et donc de la mise en place des scellements, les différentes solutions techniques de ces scellements sont présentées au volume 5 du présent rapport au niveau esquisse laissant ainsi une flexibilité vis-à-vis des solutions qui seront retenues *in fine*. Trois configurations de scellement sont actuellement étudiées :

- une première configuration dans laquelle les massifs en béton sont ancrés dans les argilites afin de reprendre l'effort de poussée engendré par le noyau durant son hydratation (la mise en place industrielle de ce type de massif a été démontrée dans le cadre de l'essai technologique FSS (cf. Chapitre 6.8 du référentiel « Les expérimentations scientifiques et technologiques menées au centre de Meuse/Haute-Marne » (19)). Cette configuration est illustrée en figure 2-35 ;

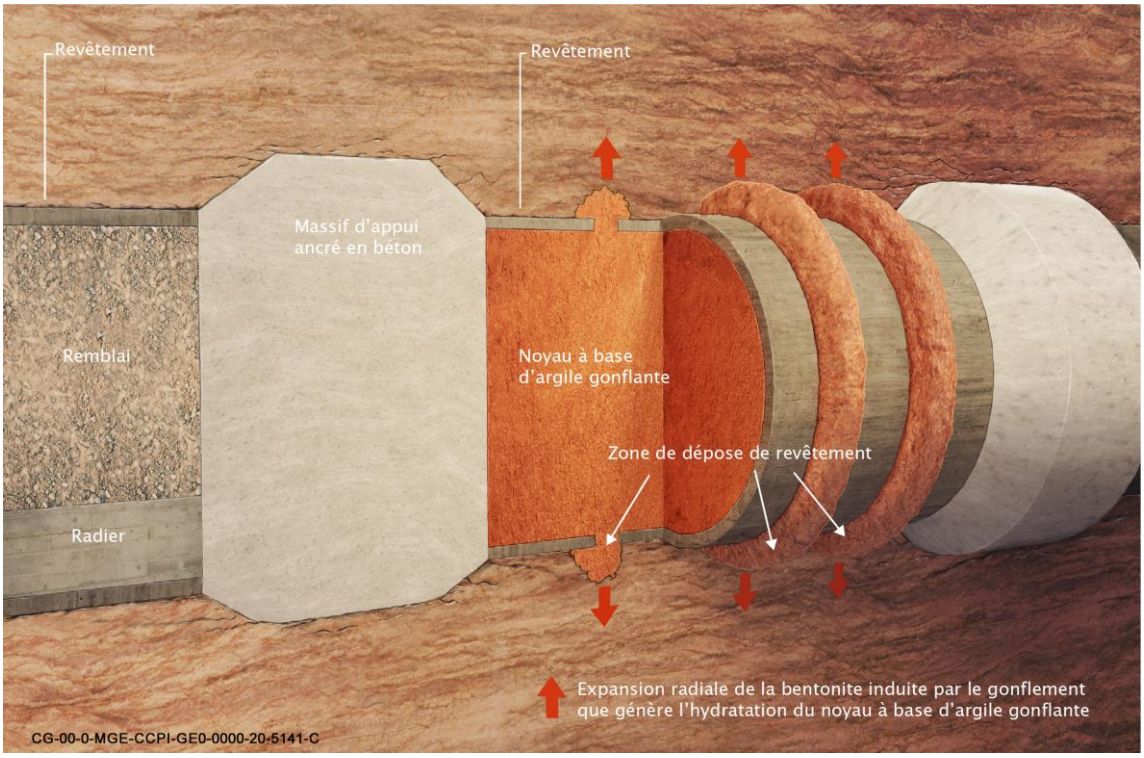



*Figure 2-35 Schéma de principe d'un scellement horizontal en galerie*

- une deuxième configuration permettant de limiter l'ampleur de l'ancrage à réaliser est étudiée : les massifs d'appui sont coulés à l'intrados du revêtement et les remblais situés de part et d'autre des massifs d'appui concourent à la reprise de l'effort de poussée. Cette configuration est illustrée en figure 2-36 ;

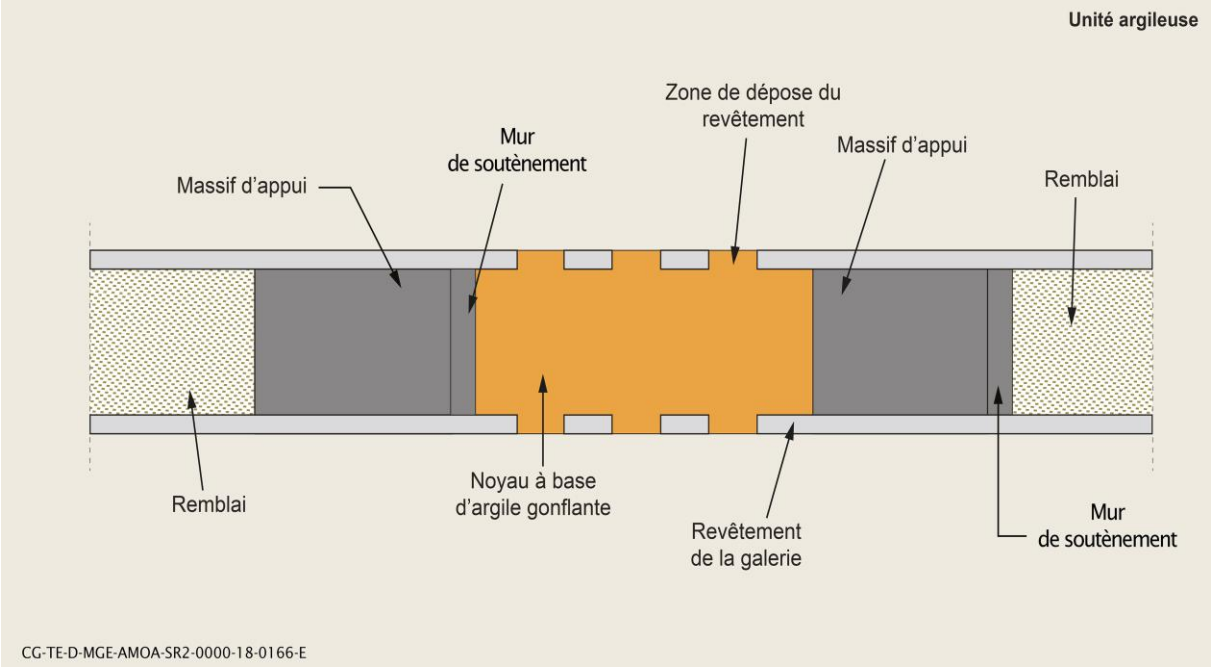



*Figure 2-36* *Schéma de principe d'un scellement dans une galerie (solution alternative en cours d'étude avec massif d'appui)*

- une troisième configuration où le noyau d'argile gonflante est directement en contact avec le remblai de galerie. Cette configuration est illustrée en figure 2-37.

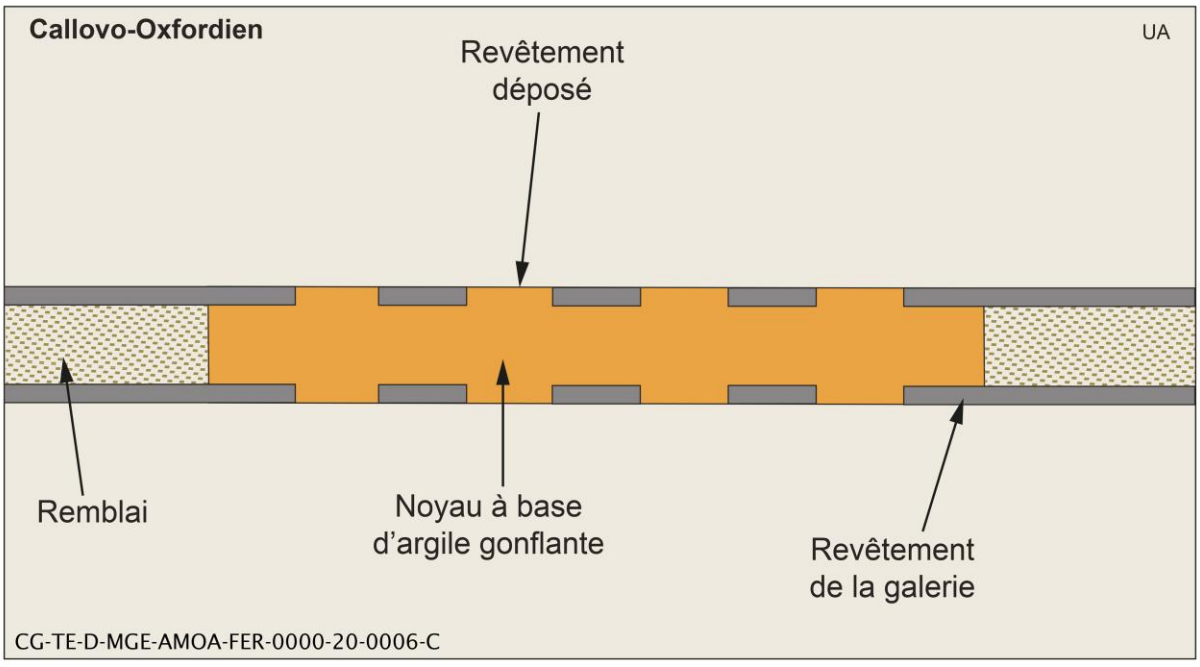



*Figure 2-37* *Schéma de principe d'un scellement dans une galerie (solution alternative en cours d'étude sans massif d'appui)*

Deux solutions sont envisageables au niveau de la reconstitution du revêtement lors de la déconstruction des massifs d'appui, si ces derniers sont réalisés :

- pour la première solution, il est possible d'excaver (au brise roche hydraulique) l'ouvrage au droit des massifs d'appui et de réaliser à l'avancement un nouveau soutènement en béton projeté et boulons (par analogie avec la méthode traditionnelle de construction d'une galerie) ;
- pour la deuxième solution, la déconstruction des massifs d'appui s'effectue par sciage (au câble) longitudinal des blocs de béton par tronçon de 50 cm à 80 cm, après avoir effectué un pré-découpage à son pourtour du massif, permettant ainsi de maintenir l'intégrité du revêtement laissé en place.

Ces travaux de démolition nécessitent le déploiement d'un système mobile d'aspiration à la source des poussières qui en résultent (la faisabilité de cette solution a été vérifiée lors du démantèlement de l'essai FSS) mais ne posent pas de difficultés techniques particulières (cf. Figure 2-38).

Le retrait du noyau d'argile gonflante est envisagé à la pelle mécanique. Pour son évacuation, la pelle mécanique charge des camions (« dumpers ») ou une bande transporteuse. Un dispositif de ventilation à front est également prévu. Au droit des déposes localisées du revêtement, la roche est purgée en paroi et le soutènement repris localement, par boulonnage et béton projeté. Après reconstruction du revêtement au niveau des zones de scellement, le radier en béton armé et le passage des réseaux sont ensuite reconstitués.

Le remblai des galeries est, comme pour le noyau argileux, déblayé à la pelle mécanique et chargé sur dumper ou dirigé vers une bande transporteuse pour évacuation. À la suite de la réouverture des galeries, les dispositifs de ventilation fixes ainsi que tous les équipements nécessaires à la remise en fonctionnement du système d'exploitation sont progressivement mis en place, y compris les rails et les dispositifs du process de transfert et manutention des colis de stockage en galeries. Les galeries de recoupe et les galeries techniques sont également déblayées puis rééquipées de façon à pouvoir assurer des fonctions équivalentes à celles assurées lors de la mise en stockage. Les dispositions de sûreté et de surveillance radiologique prévalant lors du chargement des alvéoles sont notamment remises en place et en service.




*Figure 2-38* *Exemple de déconstruction par sciage au câble du massif d'appui en béton d'un scellement (essai prototype FSS)*

Les études et essais réalisés montrent la capacité à déconstruire les ouvrages de fermeture des galeries, sous réserve de dispositions opérationnelles spécifiques, en particulier celles concernant la ventilation des chantiers et la reconstitution des soutènements. La capacité à déconstruire les massifs d'appui en béton a été vérifiée lors d'essais technologiques. Le passage du niveau 4 au niveau 3 de récupérabilité requiert donc de mobiliser des moyens d'intervention proches de ceux utilisés pour les travaux de construction des installations souterraines.

# 3

# Les dispositions conservatoires prises pour la récupérabilité

3.1 Dispositions conservatoires intégrées aux ouvrages de stockage souterrains 60
3.2 Dispositions conservatoires intégrées aux installations en surface 64
3.3 Dispositions d'exploitation adaptées aux opérations de retrait 65
3.4 Réévaluations périodiques de la récupérabilité 69

Les dispositions conservatoires facilitant les opérations de retrait des colis stockés sont de différentes natures : celles qui relèvent des adaptations du process nucléaire de manutention et de transfert des colis de stockage sont précisées au chapitre 2 du présent volume, les autres dispositions conservatoires (en lien avec les ouvrages de stockage, les installations de surface, l'exploitation) sont exposées au chapitre 3 du présent volume.

# 3.1 Dispositions conservatoires intégrées aux ouvrages de stockage souterrains

## 3.1.1 Dispositifs laissés en place après remplissage des alvéoles MA-VL facilitant la récupérabilité

Afin de permettre la récupérabilité des colis de stockage MA-VL dans des conditions les plus proches possibles de celles mises en œuvre lors de leur stockage en alvéole, une partie des équipements concourant à cette fonction de retrait est maintenue dans la partie active de l'alvéole, la cellule de manutention ou en tête (galerie d'accès et zone d'accostage), et au niveau du voile de radioprotection séparant la partie active de l'alvéole de la galerie de jonction (de retour d'air).

Ainsi, les voies de roulement du pont-stockeur (ou chariot stockeur) sont laissées en place avec l'ensemble de leur système de fixation dans la partie utile de l'alvéole de stockage, ainsi que les systèmes de prise de référence de position du pont-stockeur et les supports de ses câbles d'alimentation électrique. Ces voies de roulement sont dimensionnées pour être réutilisées pour la circulation du pont lors d'une éventuelle opération de retrait. Les conditions d'ambiance prévalant au sein de l'alvéole sont très favorables au maintien de l'intégrité de ces composants métalliques dont la fonctionnalité est donc maintenue au moment du retrait.

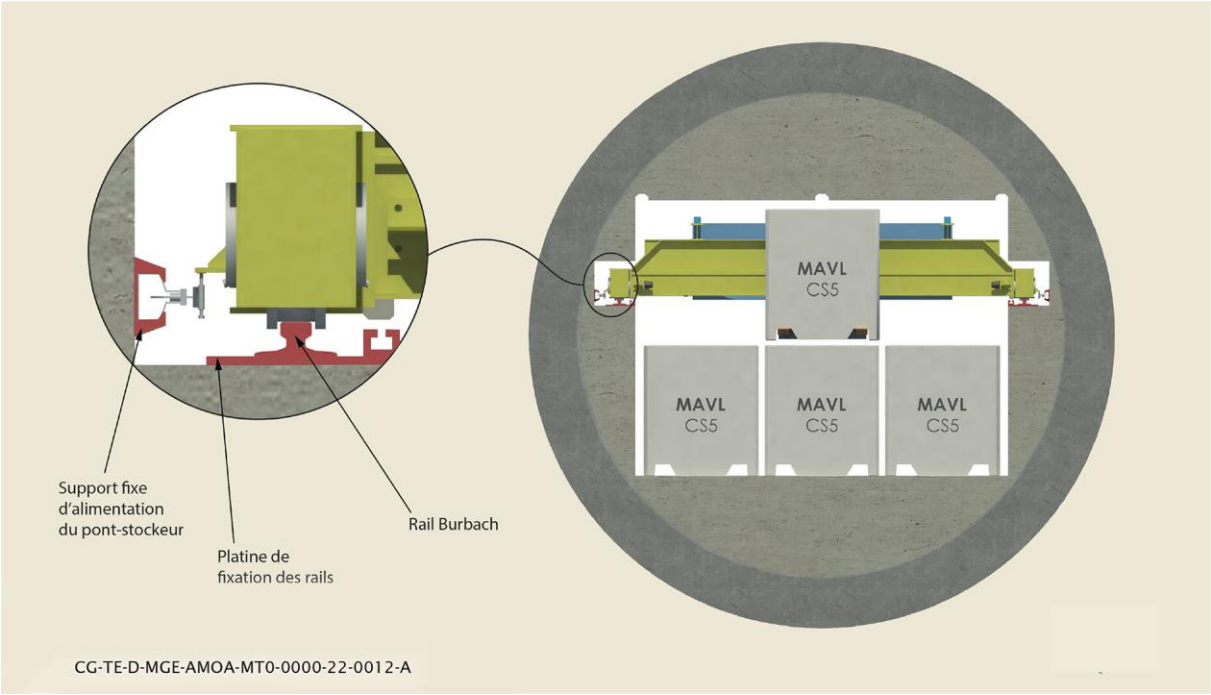



*Figure 3-1 Illustration des rails laissés en alvéole de stockage*

Le mur de radioprotection (cf. Figure 3-2) réalisé avec des blocs en béton, est mis en place progressivement (au fur et à mesure du remplissage de l'alvéole par nappe de colis) à l'entrée de la partie utile de l'alvéole, au moyen du pont stockeur, pour limiter le débit de dose du côté de la cellule de manutention. Ces blocs massifs sont dimensionnés pour pouvoir être manutentionnés (avec les moyens utilisés pour les colis de stockage) sur toute la phase de fonctionnement et en particulier retirés préalablement à une éventuelle opération de retrait, nappe par nappe (comme les colis MA-VL).

Après remplissage de l'alvéole et mise en place du mur de radioprotection, les équipements servant à la mise en place des colis de stockage, présents dans la cellule de manutention, sont démontés (éventuellement pour réutilisation dans d'autres alvéoles) ou mis en attente (protégés d'une altération chimique ou d'un endommagement lors du remblayage). Leurs systèmes de fixation (platines solidaires du génie civil) sont laissés en place, ce qui permet de ne pas endommager le génie civil de l'ouvrage et la structure du sas de manutention. Les inserts métalliques, cadres, fourreaux et de façon générale toutes les pièces noyées dans le béton sont également laissées en place et protégés. Ils peuvent ainsi être réutilisés dans le cadre d'une éventuelle opération de retrait.

La zone d'accostage et la galerie d'accès sont gérées avec la même approche pour ce qui concerne le démontage des dispositifs d'exploitation et les équipements laissés en place. Toutes les attentes (tubulures, raccords filetés, piquages...) et traversées de cloison permettant de rétablir la ventilation en préalable à une opération de retrait sont également protégées dans le même objectif.

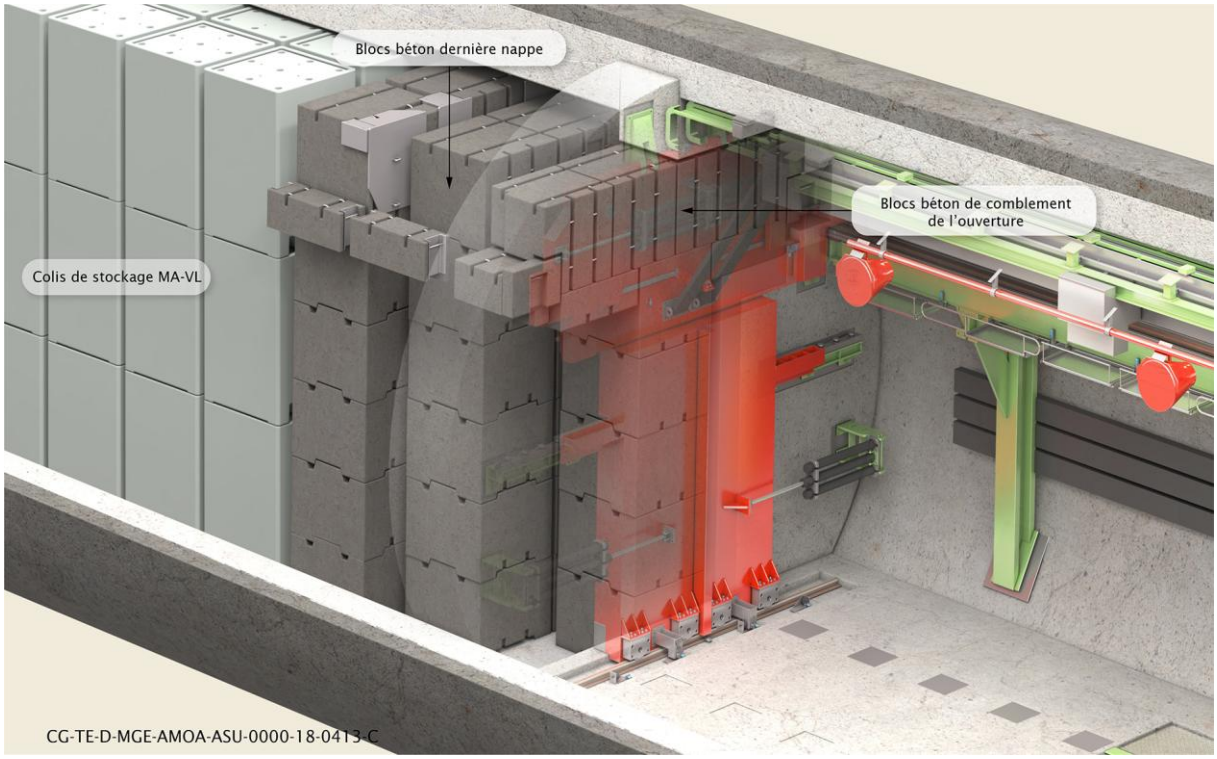



*Figure 3-2* *Illustration du mur de blocs de radioprotection à la fin du remplissage de l'alvéole*

Les dispositions de conception de l'alvéole MA-VL et les dispositifs mécaniques réutilisables permettent d'assurer sur la période de fonctionnement une capacité de remise en configuration d'exploitation de l'alvéole, y compris en termes de rétablissement et de contrôle des conditions d'ambiance en préalable aux opérations de retrait.

## 3.1.2 Dispositions facilitant la réouverture des alvéoles MA-VL

En cas de changement de stratégie en matière de gestion des déchets, en particulier en cas de décision de retirer des colis de stockage MA-VL après remblayage des galeries d'accès, il est nécessaire de rétablir les circulations. La méthode de retrait des remblais des galeries est également applicable pour le déblaiement de matériaux qui sont utilisés pour remblayer la galerie d'accès et la tête d'alvéole MA-VL ou la galerie de jonction. Des précautions complémentaires sont prises (par exemple réalisation de forages de reconnaissance) à proximité de la partie utile de l'alvéole contenant les colis de stockage.

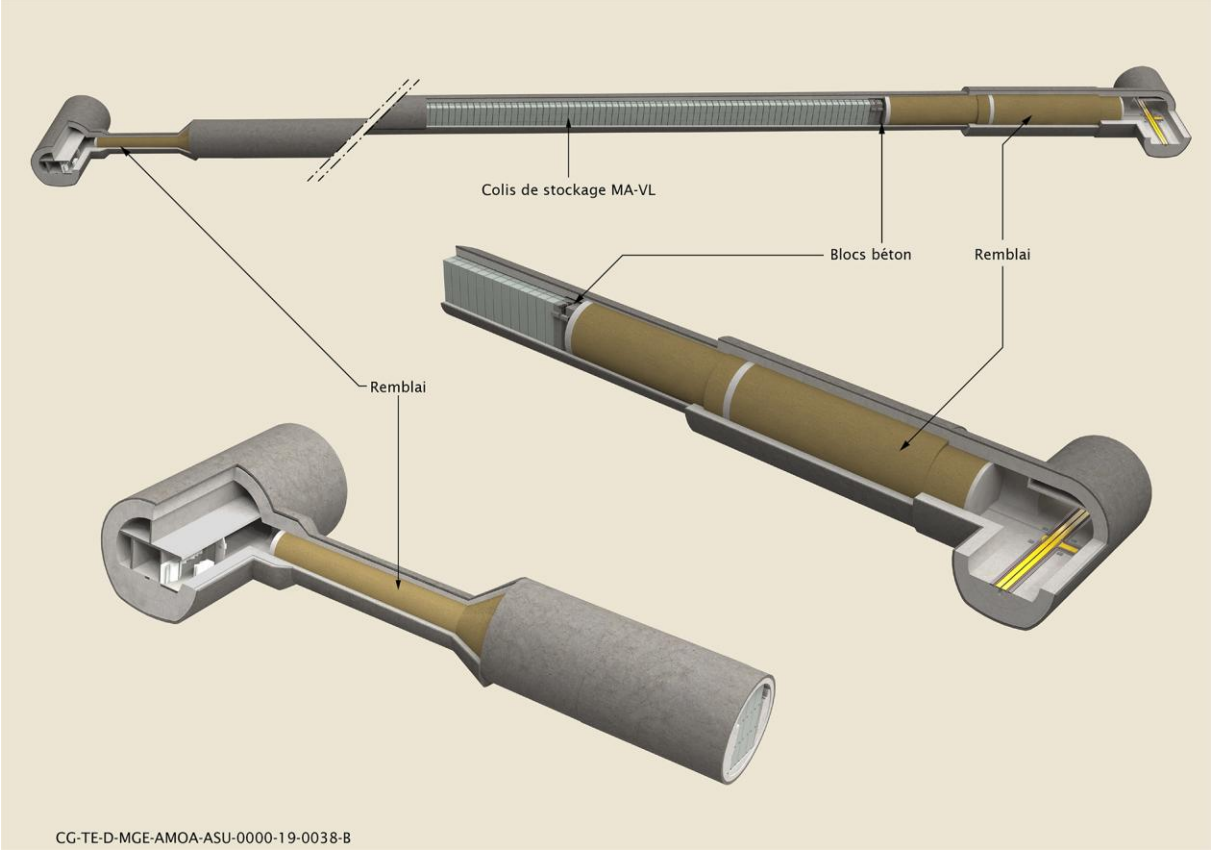



*Figure 3-3* *Illustration des zones accueillant le remblai aux extrémités de l'alvéole MA-VL*

La reconstitution du radier en béton armé (coffrage, ferraillage, bétonnage, passage des réseaux) et le confortement éventuel du revêtement sont également réalisés avant rééquipement de la tête d'alvéole. Ces travaux sont réalisés avec une ventilation secondaire de type « travaux ».

Préalablement à la réouverture du voile de radioprotection en béton séparant la cellule de manutention de la partie utile de l'alvéole, une ventilation provisoire de type « chantier de démantèlement » est mise en œuvre entre la cellule de manutention et la galerie d'accès afin d'isoler la zone en travaux. Cette disposition permet de faire face à une éventuelle contamination à l'intérieur de l'alvéole lors de sa réouverture.

La réouverture de ce voile est réalisée par une méthode adaptée (par exemple découpe avec sciage au câble sous eau) pour éviter la formation de point chaud ou d'étincelles en situation potentiellement AtEx.

La finalisation du démontage de ce mur et la reprise de la ventilation de l'alvéole constituent une opération nécessitant une phase d'investigation préalable.

En effet, pendant la période de fermeture de l'alvéole et du fait de l'absence de ventilation, des gaz radioactifs et des gaz de radiolyse, en particulier l'$H_2$ dans certains alvéoles contenant des déchets organiques, ont pu s'accumuler. Il est prévu :

- de disposer de mesures de la concentration en hydrogène ;
- de détecter les gaz radioactifs et leur concentration ;
- la possibilité d'évacuer les gaz de l'alvéole.

Les murs d'accostage et les voiles (parois) de radioprotection des alvéoles MA-VL sont pré-équipés de dispositifs fixes laissés en attente d'une éventuelle réouverture, facilitant ce type d'investigations préalables et l'évacuation progressive des gaz lors de la remise en route de la ventilation traversante.

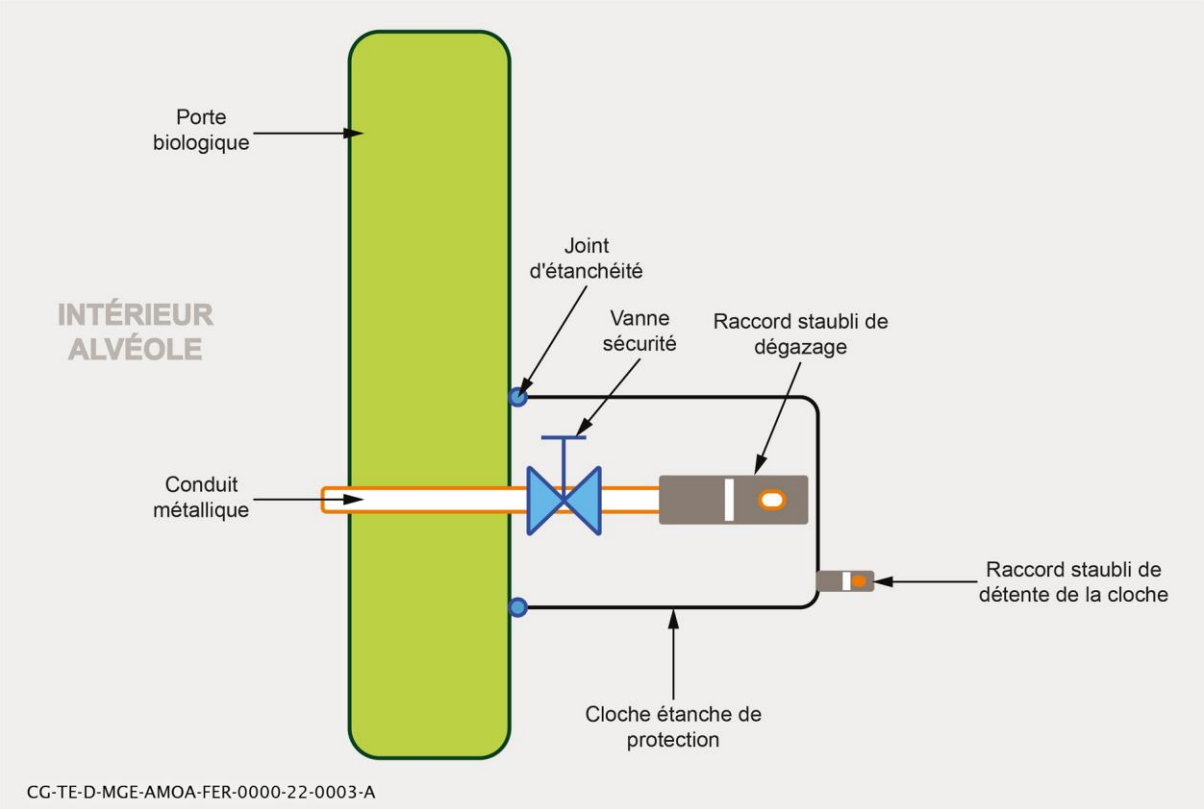



*Figure 3-4 Principe de dispositif de contrôle de l'atmosphère en alvéole MA-VL*

Ce type de dispositif permettant les prélèvements pour analyser les gaz comprend un conduit métallique débouchant dans l'alvéole, traversant le voile de radioprotection et fermé côté cellule de manutention par un raccord étanche de type « Staubli » et une vanne. Il est conçu pour mesurer la pression de l'atmosphère de l'alvéole et collecter dans une éprouvette un prélèvement de l'atmosphère de l'alvéole pour analyse chimique et d'activité radiologique (la présence d'aérosols radioactifs dans l'alvéole pourrait ainsi être vérifiée) et mesure de la concentration en hydrogène. Ce dispositif laissé à demeure est protégé lors des opérations de fermeture (du remblayage de la galerie) par une cloche métallique étanche. Plusieurs dispositifs de ce type sont intégrés dans le voile de radioprotection (par exemple en positions haute et basse).

Les dispositions de conception de l'alvéole MA-VL et les dispositifs mécaniques et de ventilation remontables permettent d'assurer, sur la période de récupérabilité envisagée, une capacité de remise en configuration d'exploitation de l'alvéole, y compris en termes de contrôle des conditions d'ambiance et de rétablissement d'une ventilation en préalable aux opérations de retrait.

Les réservations intégrées dans les différentes cloisons ou voiles de part et d'autre de la partie utile de l'alvéole MA-VL permettent de rétablir progressivement en sécurité les conditions d'ambiance compatibles avec le passage progressif du niveau 3 au niveau 2 de fermeture.

Les dispositifs mobiles d'analyse et de surveillance de l'air ambiant mis en place avec la ventilation de chantier constituent des moyens connexes d'intervention spécifiques, proches de ceux utilisés en exploitation.

### 3.1.3 Dispositifs laissés en place après remplissage des alvéoles HA facilitant la récupérabilité

Lors des opérations de fermeture de l'alvéole HA (passage du niveau 2 au niveau 3), le bouchon de radioprotection définitif et de fermeture est déjà en place. La bride et la plaque de protection thermique sont posées et le système de surveillance et de contrôle de l'atmosphère interne de l'alvéole est arrêté comme le dispositif de gestion de l'eau d'exhaure par des vannes disposées en tête. Les différents piquages sont alors obturés par un bouchon métallique, lui-même protégé par un cabochon.

Les équipements situés dans l'armoire technique (cf. Figure 2-12) sont alors démontés, remontés au jour et mis en attente. L'armoire technique (logée dans une niche en paroi de galerie) peut être soit démontée, soit maintenue en place et protégée (en vue de son réemploi) par un capotage métallique fixé au parement de galerie (la niche où elle est logée est alors protégée du remblai par une plaque métallique).

Le remontage de l'ensemble de ces équipements sur les piquages et attentes restés à demeure est réalisé en préalable aux opérations de retrait lors du passage du niveau 3 au niveau 2, après évacuation du remblai en galerie d'accès. La réouverture est précédée d'un contrôle préalable de l'atmosphère, suivi d'un balayage si besoin.

## 3.2 Dispositions conservatoires intégrées aux installations en surface

### 3.2.1 Espaces en surface dédiés au retrait des colis de déchets

L'espace nécessaire en surface dédié au retrait de colis de déchets est directement dépendant de l'ampleur des opérations qui seraient à effectuer en cas de changement de stratégie en matière de gestion des déchets. S'il s'agit de retirer des ouvrages souterrains quelques colis de stockage, l'utilisation des espaces disponibles dans le bâtiment nucléaire de surface en service (EP1 ou EP2) suffit. Si le contexte décisionnel lié aux choix que permet la réversibilité implique un nombre de colis de stockage retirés important, alors les opérations de retrait des colis de stockage nécessitent la construction de nouveaux ouvrages en surface dont la taille et la complexité sera fonction :

- de l'ampleur du retrait (tous les colis d'un alvéole HA ou MA-VL, plusieurs alvéoles HA ou MA-VL, le quartier pilote HA, voire l'ensemble du stockage) ;
- des flux de retrait ;
- de changements éventuels de conteneurs ;
- de la réexpédition envisagée vers les sites des producteurs ou une autre filière de gestion.

Les principales fonctionnalités de ces ateliers, complémentaires à celles déjà disponibles dans les ateliers nucléaires EP1 et EP2, sont le retrait des colis primaires de leurs conteneurs initiaux et leur relogement dans de nouveaux conteneurs (en vue d'une remise en stockage éventuelle) et alternativement la préparation à l'expédition, l'entreposage pour la gestion des flux de réexpédition (entreposage « tampon »), la réexpédition, enfin le soutien logistique aux activités de réouverture de parties fermées du stockage.

Des emprises foncières sont prévues à proximité des bâtiments nucléaires de surface EP1 et EP2 (situés dans la zone descenderie) afin de permettre la construction éventuelle de ces nouveaux ateliers (cette adaptation peut induire une demande de modification du périmètre de l'INB) :

- des ferraillages (réservations) sont prévus au niveau des voiles externes des bâtiments nucléaires de surface pour faciliter le raccordement d'ouvrages complémentaires ;
- le raccordement de ces ouvrages est possible sur EP1 par la réalisation d'une brèche, ce qui permettra le passage du système transbordeur de colis pour les transferts de colis de stockage ;
- le tracé des cheminements/circulations des colis de stockage dans les bâtiments nucléaires de surface est compatible avec ces raccordements.

Les principales dispositions conservatoires concernant les installations nucléaires de surface, intégrées à la conception et prises en lien avec la capacité à mettre en œuvre la récupérabilité, consistent à réserver des emprises foncières pour permettre la construction et le raccordement aux ouvrages existants de nouveaux ouvrages qui pourraient s'avérer nécessaires à l'entreposage, à un changement de conteneur ou à la réexpédition des colis de déchets retirés, en fonction notamment des flux et des volumes concernés.

### 3.2.2 Installations, moyens et équipements en surface associés à la déconstruction des ouvrages de fermeture en préalable au retrait

Les installations, moyens et équipements situés en surface et nécessaires aux opérations de déconstruction des ouvrages de fermeture et de remise en état et en service des galeries sont les mêmes que ceux utilisés pour les travaux de construction des ouvrages souterrains. Ces installations et moyens restent en service pour les opérations de fermeture (jusqu'au niveau 5) et sont décrits dans la pièce 13 « Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance » (3). Ces installations et moyens se situent essentiellement en zone puits.

Il n'est ainsi pas identifié de moyens supplémentaires nécessaires ou de dispositions conservatoires particulières à prévoir en lien avec la déconstruction des ouvrages de fermeture.

## 3.3 Dispositions d'exploitation adaptées aux opérations de retrait

Une fois les installations de l'INB construites et recettées, l'Andra mettra en œuvre, en complément des activités de surveillance des ouvrages (cf. La stratégie de surveillance de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo » (14)) un ensemble de dispositions d'exploitation en lien avec la récupérabilité.

Elles ont pour principal objectif de confirmer/conforter la capacité de l'exploitant à établir un diagnostic préalable au retrait, celle des opérateurs à retirer les colis de stockage des alvéoles. La gestion des connaissances nécessaires pour établir un diagnostic préalable et programmer une opération de retrait de colis de stockage en situation d'exploitation d'une part, et le retour d'expérience acquis en essais de retraits d'exploitation d'autre part bénéficient donc à la mise en œuvre d'un retrait hypothétique.

## 3.3.1 Validation de la capacité à retirer les colis de déchets en situation d'exploitation industrielle

### 3.3.1.1 Essais de retrait préalables à la mise en service de l'INB

En préalable à la mise en service, des essais fonctionnels de retrait de colis de stockage sont menés dans l'installation pour valider les fonctions et activités associées au retrait réalisé en exploitation. Ils s'inscrivent donc dans le cadre plus général des essais de démarrage de l'installation.

Les essais sont menés dans un premier temps avec des maquettes de colis inactifs afin de démontrer que les équipements industriels de l'installation, telle que construite, permettent le retrait effectif des colis de stockage dans les alvéoles du quartier pilote HA et MA-VL tout en garantissant la sécurité et la sûreté des opérations. La capacité des équipements de la chaîne cinématique à retirer les colis de stockage des alvéoles et à les remonter dans les installations de surface est donc testée.

Ces essais permettent notamment de valider les différentes interfaces (géométriques, mécaniques) du process nucléaire pour le retrait, le fonctionnement du système de contrôle-commande, les dispositifs de gestion des fluides et d'analyse de l'atmosphère de l'alvéole de stockage.

Ces essais démarrent depuis l'alvéole pour s'étendre *in fine* jusqu'à la cellule de réouverture des colis de stockage en surface.

### 3.3.1.2 Essais de retrait prévus après la mise en service

Les essais de retrait portant sur des colis actifs de déchets HA (du quartier pilote HA) et MA-VL sont réalisés postérieurement à l'obtention de l'autorisation de mise en service de l'INB. Les séquences complètes d'opérations de retrait d'exploitation de colis actifs sont alors validées.

Les essais de retrait réalisés sur des colis actifs, permettent de prendre en compte et de caractériser les conditions ambiantes effectives initiales et d'établir le diagnostic technique préalable au retrait. Ils permettent également de vérifier et de valider les règles générales d'exploitation (RGE) et les documents spécifiques d'exploitation applicables, ainsi que d'évaluer l'efficacité de l'intégration des aspects liés aux facteurs humains dans ce processus de retrait.

Les activités d'exploitation seront décrites dans les RGE[3] et dans les documents d'exploitation qui en découlent. Le personnel en charge de l'exploitation est formé au pilotage de l'installation, y compris pour le retrait de colis de stockage en scénario d'exploitation. Cette formation est fondée sur les modes opératoires définis lors des essais de mise en service de l'installation. Elle fait l'objet de mises en situation périodiques tout au long de l'exploitation de l'installation. Ces formations et mises en situations périodiques permettent de faire évoluer les modes opératoires, notamment si des équipements de retrait nouveaux sont développés.

Plus généralement, dans le cadre du programme de maintenance et de « contrôles et essais périodiques » de l'exploitant, la disponibilité, la fiabilité, la fonctionnalité et l'intégrité de la fonction de retrait des colis de stockage sont évaluées et maintenues pour tous les alvéoles remplis et maintenus au niveau 2 de la récupérabilité et aussi pour ceux en cours de remplissage.

À l'issue de leur emploi, certains équipements sont éventuellement réutilisés pour l'exploitation d'autres alvéoles ou mis en attente en vue d'un éventuel usage dans le cadre d'une opération de retrait d'exploitation ou un retrait hypothétique. En attente de la fermeture des alvéoles, les programmes de maintenance, de contrôle et d'essais périodiques portent notamment sur les dispositifs participant à la surveillance des conditions de retrait et à l'établissement du diagnostic des conditions ambiantes.

[3] Les RGE seront soumises à l'ASNR dans le cadre de la demande de mise en service de l'INB conformément au code de l'environnement.

## 3.3.2 Opérations de contrôle des colis concourant à la récupérabilité

Les contrôles en ligne mis en œuvre dans les installations de surface permettent de vérifier la conformité des colis primaires reçus aux spécifications d'acceptation des colis (20).

Le processus de contrôle repose sur deux grands principes :

- un processus d'acceptabilité qui permet de garantir que tous les colis primaires qui seront stockés respecteront les critères d'acceptation ;
- un processus de gestion des transferts de colis de déchets dans l'INB liés à l'exploitation qui permet de connaître la position d'un colis déchets donné en temps réel dans les installations, gère les transferts et ainsi le flux depuis les installations de surface jusqu'au stockage en alvéole. Ce processus comprend également le contrôle visuel et dimensionnel, la masse, le débit de dose, la contamination surfacique éventuelle du colis.

En exploitation, les contrôles sur les colis primaires, sur les conteneurs de stockage reçus et sur les colis de stockage assemblés permettent de vérifier qu'ils présentent les caractéristiques attendues pendant toute la durée de l'exploitation, y compris celles en lien avec les fonctions liées à la récupérabilité.

## 3.3.3 Gestion des informations utiles aux opérations de retrait

### 3.3.3.1 Informations relatives aux colis de déchets

Le système d'information et de gestion des colis de stockage est interfacé avec un système d'information global (base de données d'informations techniques relatives au colis depuis son conditionnement chez son détenteur jusqu'à son stockage).

Par ailleurs, le système de contrôle commande du process nucléaire permet de connaître :

- la position de chaque colis primaire et de chaque colis de stockage dans l'installation en temps réel ;
- les informations relatives aux colis primaires et aux colis de stockage, dont la typologie des colis primaires et leurs caractéristiques thermiques et radiologiques.

Ces informations permettent d'avoir une connaissance précise du nombre, de la nature, de la typologie et de la position des colis reçus, y compris après mise en conteneurs et mise en place en alvéole de stockage (ce type d'ouvrage étant cartographié) et d'en apprécier la dangerosité intrinsèque (activité, thermicité, chimie, exhalaison de gaz de radiolyse ou de gaz radioactifs).

Le système d'information et de gestion des colis de déchets, interfacé avec un système d'information global prévu pour l'exploitation, ne nécessite pas de dispositifs complémentaires et pourra être utilisé dans l'établissement d'un diagnostic préalable à tout retrait éventuel.

### 3.3.3.2 Informations relatives aux ouvrages souterrains

L'Andra prévoit la mise en place d'une maquette 3D reproduisant d'abord la géométrie des ouvrages conçus puis celle des ouvrages construits, sur la base des opérations de recette effectuées. Cette disposition permet de disposer de la cartographie évoquée au paragraphe précédent, nécessaire à la connaissance de la position de tout colis.

Les ouvrages de stockage (alvéoles HA et MA-VL) sont par ailleurs représentés dans un jumeau numérique intégrant également les informations recueillies par les dispositifs de surveillance, permettant de disposer ainsi d'une connaissance précise de l'évolution géométrique et phénoménologique de ce type d'ouvrages.

Cette connaissance est également appréciable pour l'établissement d'un diagnostic préalable à tout retrait éventuel.

#### 3.3.3.3 Informations relatives aux conditions d'ambiance

Les informations sur la surveillance des conditions ambiantes (thermique, hydraulique, chimique, radiologique) prévalant dans les alvéoles de stockage et les galeries souterraines sont utilisées dans le cadre de la récupérabilité. Cette activité de surveillance est exercée sur toute la période de fonctionnement et permet de connaitre l'évolution de l'ambiance dans les ouvrages afin de suivre l'évolution de l'état des colis et des composants ouvragés pour décider de la conduite des opérations de retrait (notamment avec un état des lieux phénoménologique et un diagnostic technique dressés en préalable aux éventuelles opérations de retrait).

#### 3.3.3.4 Informations relatives aux matériaux utilisés

L'Andra envisage de conserver des échantillons représentatifs de matériaux utilisés pour la construction des principaux composants (par exemple le béton des conteneurs MA-VL ou du revêtement des ouvrages souterrains, l'acier des conteneurs HA).

Ces échantillons seraient disponibles sur toute la durée de fonctionnement pour des mesures et des caractérisations complémentaires quant à leur évolution physico-chimique dans des conditions représentatives du stockage, sur une durée de plusieurs dizaines d'années.

Les informations recueillies et les connaissances acquises font l'objet d'un archivage détaillé. Elles sont conservées pendant toute la durée de l'exploitation du stockage et au-delà.

La maîtrise du contenu physico-chimique, radiologique et thermique des colis et de l'inventaire tenu à jour contribue à la connaissance du stockage et participe à la transmission de sa mémoire, y compris après sa fermeture définitive.

Elle concourt en particulier à la maîtrise des connaissances sur les conditions prévalant dans le stockage, à différents niveaux de fermeture, et constitue un outil d'aide à la décision d'éventuelles opérations de retrait.

### 3.3.4 Synthèse des dispositions d'exploitation en lien avec la récupérabilité

L'exploitant de l'INB met en œuvre des dispositions organisationnelles spécifiques en lien avec la récupérabilité. Il s'agit notamment d'essais de retrait d'exploitation menés pendant la phase industrielle pilote sur les équipements de la chaîne cinématique industrielle pour démontrer la capacité à retirer les colis de stockage des alvéoles et à les remonter dans les installations de surface en toute sécurité.

Leur planification reste à préciser en Phipil, une première proposition de typologie d'essais est présentée au chapitre 5 du présent volume. Par ailleurs, le personnel en charge de l'exploitation et de la maintenance de l'INB est formé aux opérations et à la maintenance des équipements de retrait, même s'ils ne les mettent *a priori* en œuvre que pour des essais d'exploitation.

Les contrôles de conformité des colis de stockage menés en exploitation permettent de vérifier qu'ils présentent les caractéristiques attendues en lien avec les fonctions liées à la récupérabilité.

La surveillance des conditions ambiantes (thermique, hydraulique, chimique, radiologique) permet de connaitre l'évolution de l'ambiance dans les ouvrages afin de suivre de l'évolution de l'état des colis et des composants ouvragés pour décider de la conduite des opérations de retrait.

Le système de gestion des informations permet de disposer de la source de connaissance la plus complète pour la préparation et la mise en œuvre d'une éventuelle opération de retrait, et est utilisé pour

l'établissement de diagnostics préalables sur la phénoménologie des alvéoles de stockage et des ouvrages.

## 3.4 Réévaluations périodiques de la récupérabilité

Pour l'autorisation de mise en service de l'INB (*i.e.* Pour l'autorisation de stockage des premiers colis de déchets), puis dans le cadre de la phase industrielle pilote, mais aussi à l'occasion de chaque réexamen de sûreté, l'Andra produira une analyse relative aux conditions de récupérabilité des colis stockés.

Cette analyse fera un point complet du retour d'expérience de l'exploitation des équipements utiles pour un éventuel retrait, des résultats de la surveillance des installations, des démonstrations périodiques (résultats des programmes d'essais de retrait d'exploitation menés en actif ou en inactif *in situ,* de la connaissance des colis de déchets et de l'évolution phénoménologique des ouvrages).

Cette analyse sera transmise à l'autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection et aux parties intéressées dans le cadre des mécanismes de dialogue et participation mis en place pour la gouvernance du centre de stockage Cigéo en lien avec la réversibilité du stockage. Elle permettra d'informer, au mieux de la connaissance, les parties concernées sur les conditions dans lesquelles d'éventuelles opérations de retrait de colis pourraient être mises en œuvre.

# 4

# Les scénarios de retrait étudiés

4.1 Scénarios de retrait en exploitation 72
4.2 Scénarios hypothétiques de récupérabilité 75
4.3 Scénarios hypothétiques de retrait « sûreté/post-accidentel » 87

Il existe une très grande multiplicité de scénarios envisageables pour le retrait des colis, à différentes phases de vie du stockage (et différents niveaux de fermeture).

Les scénarios de retrait étudiés (présentés dans le tableau 1-1 du chapitre 1 du présent volume) sont considérés par l'Andra comme représentatifs des situations de retrait susceptibles d'être rencontrées et des opérations alors engagées.

La mise en œuvre effective d'un scénario d'exploitation ou hypothétique dépend également des informations issues du système de surveillance qui vont aider les opérateurs à établir un diagnostic et construire un plan d'intervention adapté.

## 4.1 Scénarios de retrait en exploitation

Les scénarios de retrait étudiés sont liés aux opérations courantes d'exploitation (c'est-à-dire avant la mise en place des éléments de radioprotection définitifs et des dispositifs de fermeture) : l'alvéole HA et l'alvéole MA-VL sont en cours de remplissage (donc au niveau 2 de l'échelle de récupérabilité) lorsque la décision de retrait est prise par l'exploitant ou à la demande de l'évaluateur.

**» NOTE IMPORTANTE**

Ces scénarios d'exploitation sont repris et détaillés dans les volumes 5 et 9 du présent rapport et néanmoins résumés dans le présent volume 13, car une partie des équipements et une partie des séquences opératoires sont communes aux retraits d'exploitation et aux retraits hypothétiques.

### 4.1.1 Retrait d'un colis de stockage MA-VL non contaminé, remonté à la surface

**Dans ce scénario, l'alvéole MA-VL est en cours de chargement. La mise en œuvre de ce retrait d'exploitation peut être planifiée à l'avance et faire partie du programme d'essais de retrait à conduire en Phipil.**

Ce scénario correspond à une situation qui permet par exemple à l'exploitant de procéder à une inspection en installation de surface du colis de stockage MA-VL, voire au remplacement de conteneur, avant remise en alvéole du colis de stockage. Ces opérations de retrait peuvent notamment être utiles à la suite d'un événement (suspicion de chute ou choc lors de la manutention, éventuelle altération du conteneur MA-VL détectée par un robot…) ou pour réaliser un examen plus approfondi dans le cadre du programme de surveillance.

Le scénario comprend l'ensemble des opérations à mettre en œuvre pour le retrait d'un colis MA-VL, non contaminé, jusqu'à sa mise en place dans un entreposage tampon en surface (et l'extraction éventuelle des colis primaires MA-VL hors du conteneur).

Dans ce scénario, il est convenu que seul un colis de stockage directement accessible par le pont stockeur est retiré (il appartient à une nappe de colis en cours de constitution). Il n'est pas prévu dans le cadre de ce scénario d'ajouter des équipements supplémentaires par rapport à ceux présents lors des opérations de stockage. Il est cependant possible que les outils de manutention du pont stockeur soient changés ou adaptés en fonction de la nature de l'opération à réaliser et de la nature du colis de stockage.

Les dispositifs de maîtrise de l'atmosphère sont en fonctionnement lors de cette opération pour s'affranchir du risque AtEx et s'assurer de l'absence de radioactivité détectée au niveau des filtres THE.

Préalablement à la prise en charge du colis en alvéole de stockage, un ensemble de caméras embarquées sur le pont stockeur permet de vérifier l'état et la position du colis de stockage et de ses organes de préhension. Avant la récupération du colis de stockage par le pont stockeur, un contrôle visuel de sa face avant ainsi qu'une mesure du défaut éventuel de son positionnement sont réalisés.

Pour le retrait des colis de déchets, la prise en charge d'un colis en alvéole est effectuée par le pont stockeur ou le chariot stockeur. Pour cette opération, des fourches spécifiques sont prévues avec une capacité de rotation. Ces fourches ne sont installées sur le pont stockeur que pour l'opération de retrait. Selon le niveau de stockage en alvéole concerné par l'opération, le colis est déposé en cellule de manutention entre l'écran de radioprotection et l'élévateur. Après dépose du colis par le pont, celui-ci est transféré en position d'attente au niveau de l'élévateur.

La suite du processus de retrait s'effectue selon la procédure inverse de celle mise en œuvre pour le stockage des colis MA-VL, procédure décrite dans les volumes 5 et 9 du présent rapport de sûreté.

**NOTE IMPORTANTE :**

- les principes de retrait des colis primaires stockés en panier sont identiques aux principes ci-dessus ;
- les colis MA-VL éligibles au stockage direct sans panier disposent d'un moyen de préhension spécifique (emploi d'une pince).

### 4.1.2 Retrait de colis de stockage MA-VL non contaminés transférés dans un autre alvéole MA-VL

**Dans ce scénario, l'alvéole MA-VL est en cours de chargement, au niveau 2 de récupérabilité. La mise en œuvre de ce retrait d'exploitation peut être planifiée à l'avance et faire partie du programme d'essais de retrait à conduire en Phipil.**

Ce scénario peut être lié à une volonté de réorganisation des colis de stockage (repositionnement dans le stockage) dès lors que celle-ci est jugée utile et pertinente par l'exploitant. Il comprend l'ensemble des opérations à mettre en œuvre dans le cadre du retrait d'une trentaine de colis (d'une même nappe) d'un alvéole MA-VL pour transfert dans un autre alvéole MA-VL parmi ceux déjà construits. Cet autre alvéole peut être un ouvrage destiné à stocker des colis identiques à ceux retirés ou bien n'être utilisé que comme une disposition temporaire « tampon », en attente de leur réorientation vers leur alvéole d'origine ou vers un autre ouvrage adapté à leur stockage. Le transfert de colis de stockage entre alvéoles ne peut être réalisé que sous condition d'une compatibilité géométrique et physicochimique (co-stockage) des colis des deux alvéoles.

Les dispositifs de maîtrise de l'atmosphère sont maintenus et permettent de s'affranchir du risque AtEx et de s'assurer que le niveau de radioactivité détectée au niveau des filtres THE reste dans les limites prévues.

Après retrait de l'alvéole et mise en hotte, le colis MA-VL peut être transféré dans un autre alvéole de manière identique à un stockage classique (comme décrit au volume 5 du présent rapport). L'opération est répétée autant de fois qu'il y a de colis MA-VL à transférer d'un alvéole à l'autre.

La réalisation de ce scénario dépend de la capacité de transfert et de mise en stockage des colis dans le quartier de stockage MA-VL :

- si le transfert est réalisé entre deux alvéoles desservis par la même galerie de liaison, le processus reste possible en restant dans l'installation souterraine ;
- si le transfert est réalisé entre deux alvéoles desservis par des galeries de liaison différentes, le processus requiert une remontée préalable en surface pour retourner la hotte sur son chariot.

### 4.1.3 Retrait d'un colis de stockage HA non contaminé remonté à la surface

**Dans ce scénario, l'alvéole HA est en cours de chargement, au niveau 2 de récupérabilité. La mise en œuvre de ce scénario d'exploitation peut être planifiée à l'avance et faire partie du programme d'essais de retrait à conduire en Phipil.**

Ce scénario correspond à une situation qui permet par exemple à l'exploitant de procéder à une inspection en surface d'un colis de stockage HA, voire au relogement du colis de déchet dans un nouveau conteneur, avant remise en stockage.

Le scénario comprend l'ensemble des opérations à mettre en œuvre pour le retrait d'un colis HA, non contaminé, jusqu'à sa mise en place dans un local d'entreposage tampon en surface (l'extraction éventuelle du colis primaire HA hors du conteneur n'est pas retenue dans ce scenario, mais reste possible).

L'apparition des produits de corrosion reste peu probable dès lors que le système de maîtrise de l'atmosphère de l'alvéole et le système de récupération des eaux sont maintenus opérationnels au niveau 2 de récupérabilité, elle est néanmoins prise en compte. Pour les mêmes raisons, la présence d'eau de condensation à l'intérieur de l'alvéole (à l'intrados du chemisage) est également peu probable. Néanmoins les dispositifs de retrait conçus pour travailler en atmosphère ambiante avec présence de vapeur d'eau (cf. Chapitre 2 du présent volume) sont mis en œuvre.

À ce stade de la mise en stockage en alvéole, le faible flux neutronique émis par le colis et le temps de séjour du colis limité dans l'alvéole conduisent à écarter l'hypothèse d'activation des éventuels produits de corrosion du chemisage ou du conteneur, collectés lors du retrait.

La récupération du colis HA nécessite la mise en œuvre en galerie d'accès du dispositif « robot de retrait » en complément du « robot pousseur ». Le colis, stocké en alvéole est dans un premier temps ramené en tête d'alvéole à l'aide du robot de retrait, avec les produits de corrosion éventuels. Le colis est laissé en tête d'alvéole par le robot de retrait et les éventuels produits de corrosion sont récupérés avec le dispositif robot de retrait (ce dernier est envoyé périodiquement vider les produits de corrosion, qui sont ensuite conditionnés en fûts et transférés dans le local de collecte des déchets).

Le colis HA est ensuite chargé par le robot pousseur dans la hotte HA, elle-même préalablement positionnée en tête d'alvéole sur la navette HA. Les opérations de cette phase de retrait sont détaillées dans le chapitre 2 du volume 5 du présent rapport.

La suite du processus de retrait et de retour jusqu'en surface du colis HA s'effectue selon la procédure inverse de celle mise en œuvre pour le stockage des colis HA (cf. Volume 5 du présent rapport).

À la fin de ces opérations, si aucun autre retrait ou aucune autre mise en stockage n'est prévu, l'alvéole est remis en conditions d'exploitation courante.

Le dispositif de surveillance et de gestion de l'atmosphère interne est alors remis en route et l'on procède à un balayage de l'intérieur de l'alvéole.

### 4.1.4 Retrait de colis de stockage HA non contaminés transférés dans un autre alvéole HA

**Dans ce scénario, l'alvéole est au niveau 2 de la récupérabilité. La mise en œuvre de ce scénario d'exploitation peut être planifiée à l'avance et faire partie du programme d'essais de retrait à conduire en Phipil.**

Ce scénario peut être lié notamment à une volonté de réorganisation des colis (repositionnement dans l'installation souterraine de stockage, par exemple d'un alvéole à l'autre au sein du quartier pilote HA) dès lors que celle-ci est jugée utile par l'exploitant.

Il comprend l'ensemble des opérations à mettre en œuvre dans le cadre du retrait des colis d'un alvéole HA pour transfert dans un autre alvéole HA parmi ceux déjà construits. Cet autre alvéole peut être un ouvrage destiné à stocker définitivement les colis retirés ou bien n'être utilisé que comme un « ouvrage temporaire tampon », en attente de leur réorientation vers leur alvéole d'origine ou vers un autre ouvrage adapté à leur stockage.

À ce stade de la mise en stockage en alvéole, le temps de séjour des colis de stockage avant leur retrait est supposé suffisamment faible pour écarter l'hypothèse d'activation (de contamination) des éventuels produits de corrosion collectés lors du retrait.

La réalisation de ce scénario requiert la mise en œuvre en galerie d'accès du dispositif robot de retrait en complément du robot pousseur.

Pour l'alvéole concerné par le retrait, celui-ci étant déjà en exploitation il n'y a pas d'opération préalable à réaliser. Pour l'alvéole accueillant les colis, le cas retenu correspond à un alvéole non encore exploité. La séquence d'opérations de chargement est identique à celle prévue pour le stockage (décrite au volume 5 du présent rapport).

Le processus est répété autant de fois qu'il y a de colis concernés.

Une seule hotte HA est nécessaire pour l'ensemble des opérations de transfert de colis HA d'un alvéole à l'autre ; cette hotte étant amenée au fond préalablement aux opérations de transfert et de positionnement des robots. La hotte HA est positionnée en galerie d'accès entre le dispositif robot de retrait et le dispositif robot pousseur.

L'enchainement de ces phases de retrait est détaillé dans le volume 5 du présent rapport.

## 4.2 Scénarios hypothétiques de récupérabilité

**Ces scénarios ne relevant pas de l'exploitation du stockage, ils ne sont pas repris au chapitre 5 du présent volume qui présente une proposition simplifiée de programmation d'essais de retrait d'exploitation en Phipil.**

### 4.2.1 Alvéole MA-VL au niveau 2, retrait complet et réexpédition de tous les colis de déchets non contaminés

Dans ce scénario hypothétique, il est considéré que l'alvéole MA-VL est complètement rempli de tous les colis de déchets MA-VL et fermé au niveau 2 : le mur de blocs de radioprotection est constitué, mais les blocs ne sont pas clavés. Les équipements de manutention ont été démontés.

Le système de maîtrise de l'atmosphère interne (dont l'analyse des gaz et ventilation) est maintenu opérationnel. Les autres dispositifs du système de surveillance sont également en fonctionnement.

En l'absence de détection d'activité dans le système de filtration de ventilation, au niveau des filtres THE situés en galerie de jonction (en retour d'air), il n'est pas prévu de contrôle de contamination colis par colis dans la cellule de manutention (ce contrôle de contamination reste néanmoins possible en préalable à la remontée en surface).

Deux étapes principales préalables au retrait sont à réaliser :

- une remise en état de la cellule de manutention et de la galerie d'accès ;
- le retrait des blocs de radioprotection.

#### 4.2.1.1 Remise en état de la cellule de manutention et de la galerie d'accès

La première étape est relative à toutes les opérations de contrôle et de maintenance des utilités qui sont effectuées en galerie d'accès et en cellule de manutention Tous les équipements du process nucléaire démontés lors de la mise sous cocon sont inspectés et réinstallés avant remise en service. Le joint gonflant situé au niveau de la façade d'accostage est également remis en place.

Les essais de bon fonctionnement unitaires et les essais d'ensemble des différents équipements du process nucléaire sont conduits en galerie d'accès (zone d'accostage) et en cellule de manutention.

#### 4.2.1.2 Retrait des blocs de radioprotection

La deuxième étape consiste à retirer les blocs de radioprotection mis en place (pour la nappe concernée, qui est la nappe supérieure) devant les colis de stockage. Elle est identique à une opération de retrait d'exploitation de colis de stockage MA-VL, décrite au chapitre 4.1.1 du présent volume.

La hotte MA-VL, utilisée pour les opérations de stockage, est également employée pour ces opérations de retrait. Une fois que la hotte MA-VL contient un bloc de radioprotection, deux cheminements sont possibles :

- la hotte peut aller déposer le bloc de radioprotection dans un autre alvéole MA-VL servant de stockage tampon. Ce process est similaire à une opération de transfert de colis de stockage entre deux alvéoles (cf. Retrait d'exploitation décrit au chapitre 4.1.2 du présent volume) ;
- la hotte remonte en surface en suivant le cheminement normal des hottes, avant de rejoindre le hall de maintenance des hottes de l'atelier EP1. Les blocs de radioprotection sont alors stockés dans un bâtiment dédié ou dans le hall de maintenance.

#### 4.2.1.3 Retrait des colis de stockage

Le retrait des colis de stockage et leur retour en surface suit le processus décrit au chapitre 4.1.1 du présent volume et ce pour le retrait de chaque colis de la nappe concernée.

**NOTE IMPORTANTE**

L'opération est répétée (pour les blocs de radioprotection et les colis) pour la nappe intermédiaire et enfin la nappe inférieure.

Les colis de stockage, une fois de retour dans l'installation EP1, suivent un cheminement inverse de celui réalisé pour loger les colis primaires dans les conteneurs béton. Si jugé utile, les colis primaires sont extraits des conteneurs de stockage, subissent un contrôle de non-contamination à titre de précaution (une décontamination si nécessaire), puis sont mis en attente avant chargement dans un emballage de transport pour expédition vers une autre filière de gestion.

Alternativement, les colis de stockage MA-VL peuvent être réexpédiés en l'état chez les producteurs, moyennant l'étude et la disponibilité d'un système de transport adapté.

### 4.2.2 Non poursuite du projet à l'issue de la PHIPIL, remontée de tous les colis MA-VL stockés non contaminés

Dans ce scénario, il est retenu que chaque alvéole MA-VL concerné et rempli de ses colis de stockage est au niveau 2 de la récupérabilité et que le mur de blocs de radioprotection est constitué (les blocs ne sont pas clavés) pour chaque alvéole. Les dispositifs de manutention ont été démontés (chaque alvéole déjà rempli en totalité est sous cocon).

Le système de maîtrise de l'atmosphère interne (analyse des gaz et ventilation) est maintenu opérationnel. Les autres dispositifs du système de surveillance sont également en fonctionnement.

Même en l'absence de détection d'activité dans le système de ventilation (au niveau des filtres THE), il est ici envisagé lors du retrait qu'un contrôle de contamination colis par colis soit néanmoins réalisé au niveau de la cellule de manutention, à titre de précaution, en préalable à la remontée en surface, compte tenu des temps de fonctionnement de l'installation (plusieurs dizaines d'années). Ce contrôle de contamination est décrit au chapitre 4.3.1 du présent volume relatif au retrait d'un colis MA-VL contaminé.

Les opérations décrites au chapitre 4.2.1 du présent volume pour le retrait des colis d'un alvéole sont répétées pour la totalité des alvéoles du quartier de stockage MA-VL déjà remplis (en totalité ou partiellement), moyennant l'adaptation des systèmes de manutention à la géométrie des différents types de colis de stockage concernés.

Compte tenu des enjeux en termes de quantité et volume de colis de stockage, de conteneurs et de colis primaires concernés par le retrait d'une part, des nombreuses familles de colis en jeu d'autre part, il est nécessaire de concevoir et construire un atelier de surface spécialisé pour préparer la réexpédition des colis de déchets chez les producteurs ou une autre filière de gestion. Un tel atelier est contigu au bâtiment nucléaire de surface EP1. Une réserve foncière en surface en zone descenderie est prévue à cette fin (cf. Chapitre 3.2.1 du présent volume).

## 4.2.3 Niveau 4 de récupérabilité (quartier de stockage MA-VL fermé), réouverture des galeries et des alvéoles, retrait d'une famille de colis MA-VL (non contaminés)

### 4.2.3.1 Passage du niveau 4 de récupérabilité au niveau 3

Dans ce scénario, le niveau 4 de récupérabilité est atteint, ce qui implique que la totalité du quartier de stockage MA-VL est fermé, y compris les galeries d'accès, de jonction de retour d'air et les galeries de liaison. S'il est décidé de retirer une famille de colis MA-VL des alvéoles qui l'accueillent, le programme de travaux préalables au retrait doit s'effectuer en deux étapes principales :

- le passage du niveau 4 (quartier fermé) au niveau 3 (seule la galerie de jonction et la galerie d'accès à l'alvéole MA-VL concerné sont alors encore fermées) ;
- le passage du niveau 3 (galerie d'accès à l'alvéole MA-VL et galerie de jonction fermées) au niveau 2 (remise en configuration d'exploitation de l'alvéole concerné).

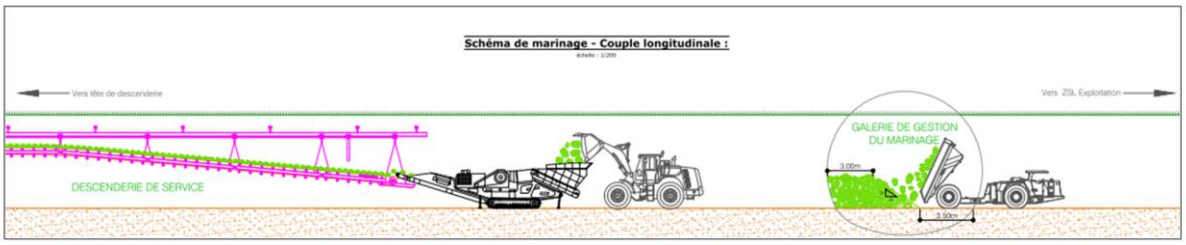
Une fois l'alvéole remis en configuration d'exploitation, le processus de retrait des colis MA-VL suit un processus inverse de celui mis en œuvre pour le stockage (ce processus de retrait est décrit au chapitre 4.2.1 du présent volume).

**L'étape 1** s'apparente par sa nature aux opérations de construction initiale :

- excavation et marinage des remblais et déconstruction des ouvrages de fermeture, dont les scellements du quartier ;
- remise en état des revêtements et du radier ;
- pose des équipements et des réseaux puis remise en route des utilités (courants forts et faibles, ventilation, monitoring...). Cette dernière opération est conduite de façon différée, en même temps qu'elle est réalisée sur la galerie d'accès à l'alvéole MA-VL ou la galerie de jonction.

Cette première étape ne requiert pas *a priori* de précautions particulières vis-à-vis du risque ATEX (lié à la présence de $H_2$ issu de l'alvéole MA-VL qui n'est plus ventilé), la ventilation de chantier assurant à front des débits très importants de renouvellement d'air et le volume d'atmosphère occlus dans les remblais étant faible.

La présence d'un système mobile de détection de $H_2$ au plus près du front de marinage constitue une disposition de prévention suffisante.




CG-TE-D-MGE-AMOA-DEM-0000-22-0021-A

*Figure 4-1* *Schéma de principe du système de marinage combiné à une bande transporteuse pour évacuation des déblais*

**L'étape 2** requiert en revanche de mettre un soin particulier dans le déblaiement du remblai à l'approche de l'alvéole MA-VL, c'est-à-dire lors du déblaiement et de la remise en état de la galerie d'accès (et de la galerie de jonction) puis lors de la remise en configuration d'exploitation de l'ouvrage de stockage.

Les temps opératoires associés à cette opération peuvent être importants si la présence d'hydrogène est détectée à une teneur proche de l'ATEX. Ces temps de remise en configuration d'exploitation dépendent aussi du terme source hydrogène par définition variable d'un alvéole MA-VL à l'autre en fonction du type de colis concernés.

Cette étape 2 est elle-même décomposée en plusieurs phases décrites ci-dessous.

#### 4.2.3.2 Phase de réouverture de la galerie d'accès, de la zone d'accostage et de la cellule de manutention

L'opération consiste d'abord à déblayer la galerie d'accès, la zone d'accostage et la cellule de manutention jusqu'au mur de blocs de radioprotection clavés (obturant l'accès à la partie active de l'alvéole) et la galerie de jonction (de retour d'air) jusqu'au mur de fond de l'alvéole, avant de reconstituer le radier des galeries.

Le retrait du remblai peut être effectué des deux côtés d'alvéole simultanément. Afin de se prémunir du risque ATEX (l'hydrogène peut avoir diffusé au travers des voiles ou du revêtement d'un alvéole postérieurement à la fermeture du quartier de stockage MA-VL) des mesures de concentration en hydrogène sont réalisées à l'avancement des travaux lors du retrait du remblai et le matériel utilisé est si possible ATEX.

L'approche du mur de blocs d'obturation clavés sur les derniers mètres s'effectue après réalisation de forages de reconnaissance à l'avancement, avec un matériel certifié ATEX et une mesure de la concentration en hydrogène à l'avancement. En fonction de la valeur mesurée, les temps de ventilation nécessaires à la mise en sécurité (dilution de l'hydrogène) seront adaptés ainsi que les cadences de déblaiement.

La reconstruction du radier en béton armé (coffrage, ferraillage, bétonnage, passage des réseaux) constitue une opération nécessaire pour recréer les conditions d'accès à l'alvéole. Ces travaux sont réalisés avec une ventilation secondaire de type « travaux » avec ventubes et dépoussiéreurs en galerie, jusqu'à la remise en route de la ventilation normale.

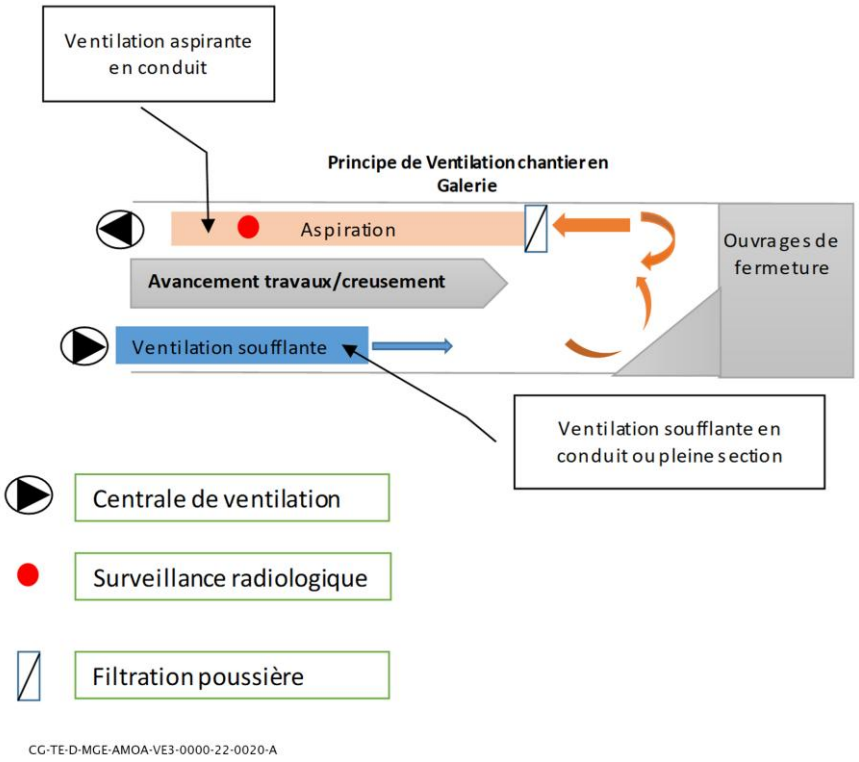



*Figure 4-2* *Principe de ventilation à front lors du retrait du remblai de la galerie d'accès, de la zone d'accostage et de la cellule de manutention*

### 4.2.3.3 Phase de réouverture de la galerie de jonction (de retour d'air)

Les actions et conditions de réouverture (de déblaiement) de la galerie de jonction sont de même nature que celles engagées pour la réouverture de la galerie d'accès et de la zone d'accostage.

### 4.2.3.4 Phase de rééquipement des galeries

Les équipements à mettre en place sont les mêmes que ceux déposés lors de la fermeture des galeries.

À la suite de la réhabilitation des ouvrages de génie civil sont remis en place et en fonctionnement les dispositifs fixes de ventilation ainsi que tous les équipements nécessaires à l'exploitation d'un alvéole MA-VL en configuration de retrait. Les galeries d'accès, zone d'accostage, cellule de manutention, galerie de jonction sont donc rééquipées avec les équipements et systèmes nécessaires pour la mise en stockage.

Les opérations concernent :

- l'équipement servant au process dans la galerie et la cellule de manutention ;
- la remise en place des équipements de la ventilation d'exploitation ;
- l'équipement des galeries proprement dites (*e.g.* Éclairage, prises de courant, réseaux fluides, réseaux CFO/CFI en multitubulaires sous radier…) ;
- l'équipement de la galerie de retour d'air, en prévision de la remise en service de la ventilation des alvéoles.

Après la phase d'installation, les équipements font l'objet d'essais préalables (constat d'état de montage) puis sont mis sous tension. Sont déroulés ensuite les essais unitaires pour chaque composant de l'ouvrage, puis les essais d'ensemble sont réalisés avec le contrôle commande pour permettre la qualification des équipements d'exploitation de l'alvéole. Ceux remis en place à proximité de la galerie d'accès et de la cellule de manutention et sur le circuit de ventilation sont également certifiés ATEX.

#### 4.2.3.5 Phase de retrait des dispositifs d'obturation en tête et en fond d'alvéole et remise en route de la ventilation

Le phasage et le principe de technique envisagée sont les suivants :

- mise en œuvre du dispositif de contrôle de l'atmosphère en alvéole MA-VL (cf. Figure 3-4 du chapitre 3.1.2 du présent volume) positionné à différentes hauteurs au niveau de l'entrée d'alvéole (voile d'accostage et voile de séparation entre la chambre de manutention et la zone de stockage) au droit des réservations prévues à cette fin ; le dispositif permet le maintien sous pression de l'alvéole et la collecte d'échantillons gazeux ;
- mesure sur les échantillons collectés de la concentration d'hydrogène à différentes hauteurs afin de déterminer le gradient éventuel de concentration vertical en hydrogène (cf. Figure 4-3) ; l'analyse des gaz collectés est également orientée sur l'activité radiologique ambiante. La pression prévalant en alvéole est également vérifiée ;

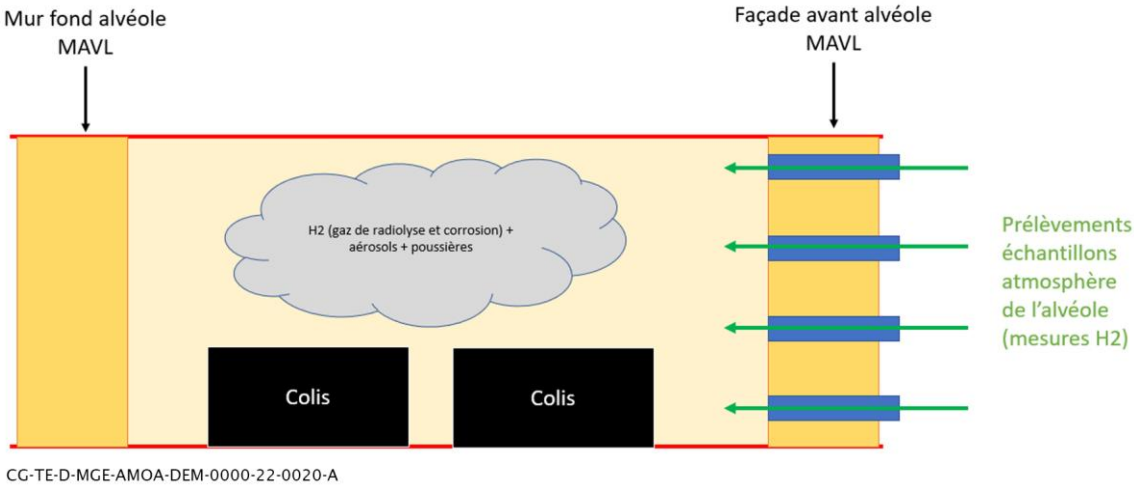



*Figure 4-3* *Schématisation des dispositifs de prélèvement des gaz en partie utile de l'alvéole MA-VL pour mesures de teneur en H2*

- percement (en légère surpression vis-à-vis de la pression ambiante dans l'alvéole), avec un dispositif d'étanchéité type presse-étoupe (carottage à l'eau pour prévenir les étincelles) de la paroi de radioprotection en fond d'alvéole et réinstallation de la gaine de ventilation en galerie de jonction. Il est envisagé à ce stade que le percement et la mise en place de la gaine soient des actions robotisées et télécommandées, le personnel en charge des opérations se trouvant à distance derrière un écran de radioprotection afin d'éviter toute exposition à l'activité radiologique ou au risque AtEx. En amont de la gaine de ventilation est placé un système de double vanne avec possibilité d'injection d'azote permettant la dilution de l'hydrogène sortant de l'alvéole. Le système de ventilation en galerie de retour d'air peut donc être remis en configuration de fonctionnement de façon similaire à la phase initiale d'exploitation, mais avec du matériel certifié ATEX ;

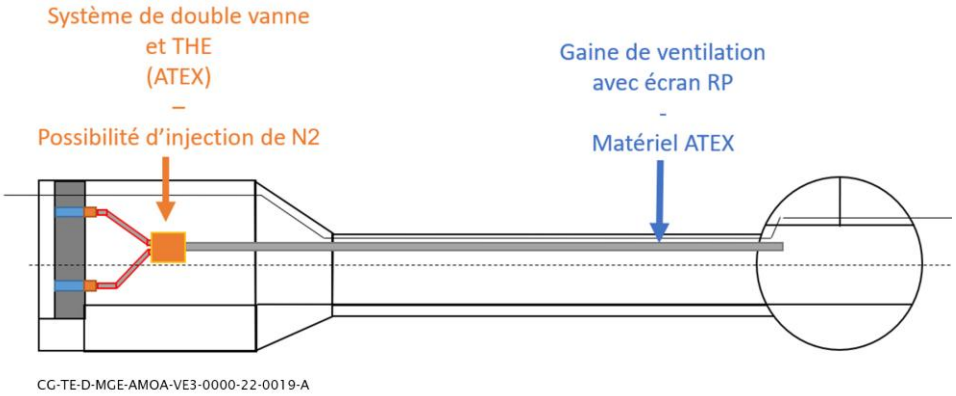



*Figure 4-4* *Schéma de principe de l'installation de la gaine de ventilation en galerie de jonction*

- en sortie d'alvéole, la filtration THE est réinstallée comme lors de la phase d'exploitation afin de garantir le confinement des substances lors des opérations d'inertage, l'air extrait de l'alvéole étant considéré contaminé (classe de confinement C2 en exploitation). De plus, afin d'éviter tout colmatage du filtre THE à cause des poussières remises éventuellement en suspension lors du soufflage de l'azote, un filtre à poussière est implanté sur la gaine avant le filtre THE. Derrière les filtres THE, une conduite reprend le mélange N2/H2 dirigé vers le puits VVE (puits d'extraction de la ventilation nucléaire), si nécessaire avec le relai d'un compresseur ATEX ;
- la pression régnante dans les alvéoles MA-VL au moment de leur réouverture étant *a priori* inconnue, mais présumée supérieure à celle prévalant en galerie de jonction, l'injection de l'azote permet à l'atmosphère de l'alvéole, si elle est sous pression, de se rééquilibrer avec la pression environnante, tout en préservant des conditions ambiantes inférieures à la LIE ;
- mise en place d'un système d'injection de $N_2$ en tête d'alvéole au niveau du voile de radioprotection séparant la cellule de manutention de la partie utile ;
- balayage à l'azote de la partie utile et reprise du mélange gazeux en galerie de jonction (*via* la gaine de ventilation et les filtres THE) en mesurant en continu la concentration en hydrogène en sortie d'alvéole et ajuster, en fonction du niveau de concentration mesuré, le flux d'air dans le puits nucléaire afin d'obtenir une dilution suffisante. Il est envisagé à ce stade d'ouvrir un seul alvéole à la fois pour assurer la dilution la plus efficace possible du mélange gazeux au niveau du puits nucléaire et ne pas démultiplier les contraintes logistiques ;

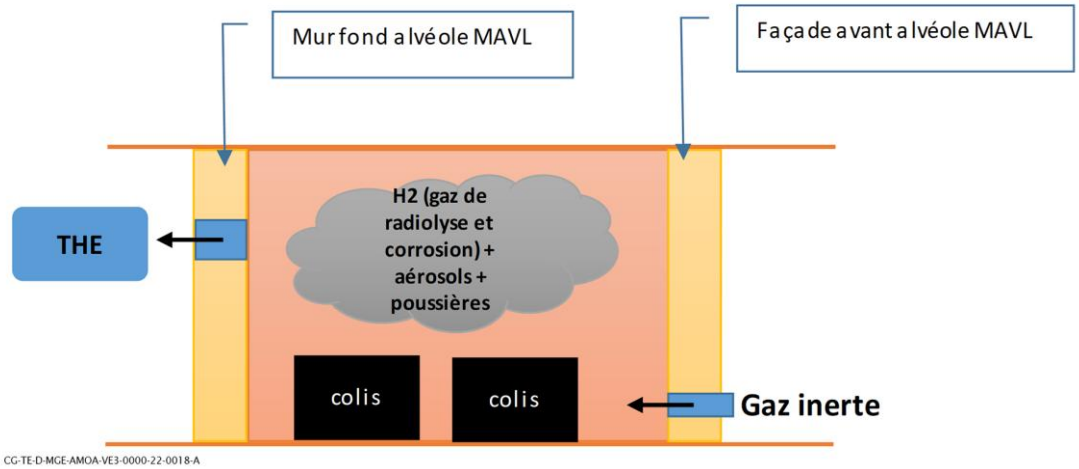



*Figure 4-5* *Schématisation du principe de balayage à l'azote de l'alvéole MA-VL*

- l'atmosphère de l'alvéole est renouvelée autant de fois que nécessaire pour abaisser la teneur résiduelle en $H_2$. Lorsque la concentration d'$H_2$ mesurée en sortie est suffisamment faible, l'azote est alors remplacé par de l'air et la ventilation nucléaire « ordinaire » (celle prévue en opérations courantes) remise en service avec du matériel certifié ATEX ;
- lorsque la ventilation nucléaire traversante est à nouveau effective, le mur d'obturation clavé positionné devant les blocs de radioprotection peut alors être déposé.

#### 4.2.3.6 Phase de découpe et déconstruction du mur d'obturation

La découpe du mur d'obturation est assurée par l'utilisation d'une scie circulaire montée sur un engin mécanisé ou par sciage au câble ; cette opération est effectuée sous eau pour prévenir l'apparition d'étincelles et à distance. Les opérateurs sont protégés par un écran de radioprotection.

Des travaux préparatoires à ce chantier de découpe, pour la gestion des poussières générées, sont nécessaires. Le dispositif de ventilation doit permettre le captage des poussières, assurer une température compatible avec le travail des intervenants, en compensant la chaleur dégagée par les engins et les installations électriques et assurer la surveillance radiologique.

Il est également nécessaire d'assurer une gestion des effluents (générés par le travail de découpe sous eau) par la mise en place d'une bâche et de batardeaux (l'eau est utilisée en circuit fermé *via* une pompe à faible débit).

Les travaux de déconstruction à proprement parler comprennent les principales séquences ci-après :

- découpe du mur d'obturation en panneaux qui ne soient pas trop volumineux ou pondéreux et d'une manipulation facilitée dans un espace limité. Afin d'éviter la chute des panneaux de béton sur les blocs de radioprotection positionnés en entrée de la partie active d'alvéole, ces panneaux sont attachés préalablement à leur découpe ;
- finition du démantèlement au droit des parements ou des zones inaccessibles à la découpe à l'aide d'un marteau-piqueur ;
- passivation des aciers et ragréage des parements ;
- évacuation des blocs et gravats béton par camion plateau ou démolition de ces blocs afin de pouvoir les évacuer par dumpers et bande transporteuse ;
- nettoyage de la zone travaux.

#### 4.2.3.7 Phase de rééquipement de la cellule de manutention, de la galerie d'accès et de la zone d'accostage

Une fois le mur d'obturation déconstruit et le génie civil remis à niveau, il est possible de rééquiper la cellule de manutention, la zone d'accostage et la galerie d'accès avec les dispositifs mécaniques et électriques assurant la fonction de transfert et mise en stockage, également utilisés pour le retrait. Les mesures conservatoires qui permettent ce rééquipement sont présentées au chapitre 3.1.

Le pont stockeur est réinstallé et équipé des outils de préhension nécessaires au retrait des blocs de radioprotection (éléments à retirer les premiers de l'alvéole MA-VL, au niveau de la couche supérieure d'empilement de ces blocs), les platelages entre l'élévateur et l'écran de radioprotection sont montés en position haute (celle de la couche supérieure des blocs) et équipés avec les moyens de contrôle et de fixation de la contamination (disposition mise en place au titre du principe de précaution, même si aucune activité radiologique n'a été préalablement détectée).

Avant tout retrait de colis de stockage, la mise en place d'une protection en vinyle (ou autre) est effectuée de manière provisoire et préventive en cellule de manutention, afin de couvrir les surfaces de la cellule de manutention et ainsi protéger au mieux les équipements mécaniques d'une éventuelle contamination labile non détectée.

Cette protection est montée sur les parois latérales de la cellule entre les rails du pont stockeur et le radier.

Par mesure de précaution, ces protections latérales seront prolongées sur l'intégralité du parcours du colis en cellule de manutention, bien que la contamination soit fixée (si nécessaire) sur le colis dès la sortie de l'alvéole de stockage. Il n'est néanmoins pas prévu de mettre en place de protections au plafond de la cellule compte tenu de l'hypothèse retenue de non-contamination du scenario de retrait.

Une fois ces dispositions mises en place, le processus de retrait précédemment décrit peut être engagé pour chaque bloc de radioprotection, puis pour chaque colis de stockage.

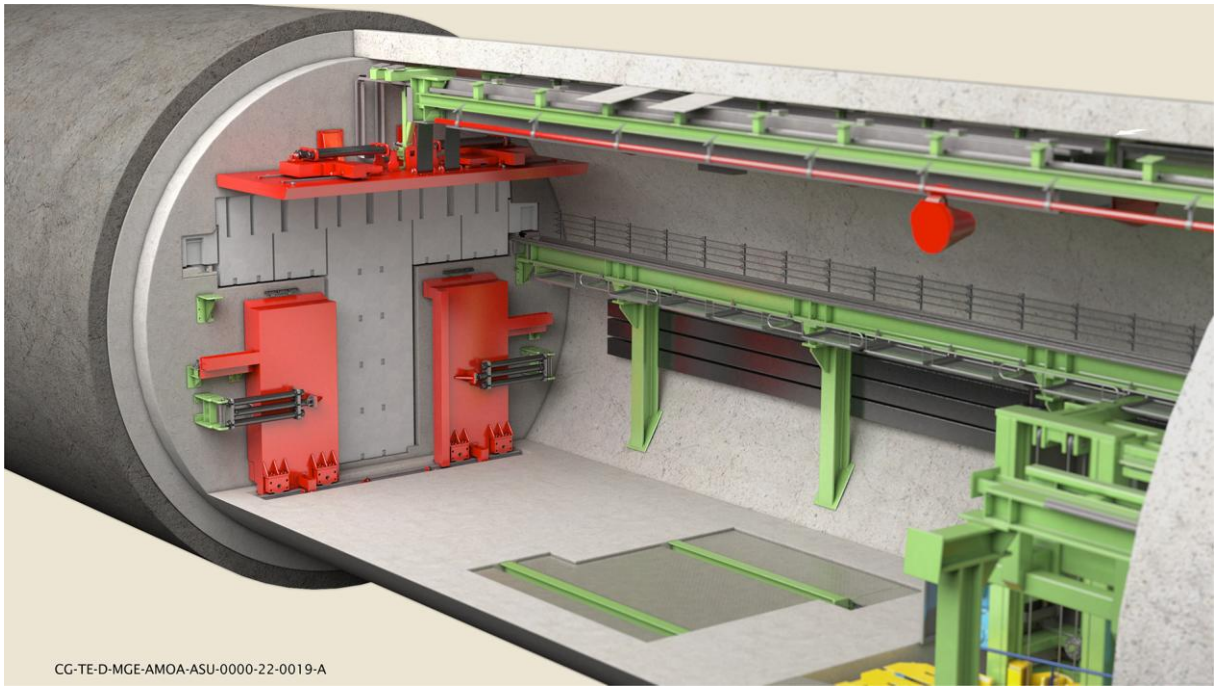



*Figure 4-6* *Illustration de la cellule de manutention rééquipée avant retrait des blocs de radioprotection*

## 4.2.4 Alvéole HA au niveau 2, retrait complet et réexpédition de tous les colis du quartier pilote HA contaminés par des produits d'activation de l'acier

### 4.2.4.1 Contexte

En phase d'exploitation, la présence d'un flux neutronique émis par les colis de stockage HA va entrainer au fur et à mesure du temps une activation des matériaux métalliques composant le conteneur de stockage et le chemisage de l'alvéole HA. Le niveau d'activation dépend de l'activité des colis et de leur temps de séjour en alvéole. En présence d'eau dans les alvéoles, les résidus de corrosion activés vont être générés entrainant une contamination surfacique labile des colis de stockage et une dispersion de ces résidus dans les eaux d'exhaure issues des alvéoles HA.

Ce phénomène de corrosion est néanmoins ralenti par le système de contrôle et d'inertage de l'atmosphère interne.

Ce scénario hypothétique comprend l'ensemble des opérations à mettre en œuvre pour retirer les colis HA du quartier pilote HA, les transférer en surface et les remettre dans un état permettant de les stocker à nouveau.

La récupération des produits de corrosion activés du chemisage et leur évacuation sont décrites ci-après.

### 4.2.4.2 Hypothèses retenues pour ce scenario

Dans le scenario étudié, les alvéoles HA sont tous remplis et fermés au Niveau 2 de l'échelle de récupérabilité, équipés du bouchon de fermeture (qui est aussi le bouchon de radioprotection de fin d'exploitation).

Dans ce scenario, le dispositif de contrôle de l'atmosphère et de gestion des fluides est maintenu opérationnel jusqu'au démarrage des opérations de retrait.

La quantité collectée des produits de corrosion présents dans l'alvéole est supposée limitée (masse de l'ordre du kilogramme) et la granulométrie supposée d'une taille réduite (grain de taille centimétrique et d'épaisseur millimétrique). Il est également considéré que :

- les produits de corrosion activés ne génèrent pas une contamination surfacique du colis HA au-delà des limites acceptables sur l'installation (0,4Bq/cm² en α et 4Bq/cm² en β/γ) ou remettant en cause le dimensionnement de l'installation actuelle ;
- les résidus de corrosion récupérés par le robot sont considérés comme des déchets TFA (*i.e.* Activité <100 Bq/g).

### 4.2.4.3 Gestion des produits de corrosion

La solution proposée consiste à mettre en œuvre un dispositif de récupération par aspiration permettant de collecter en tête d'alvéole les produits de corrosion dans un pot filtrant décanteur. Le système de retrait des colis de stockage HA est aménagé de la façon suivante :

- un bac de récupération de rouille est aménagé pour collecter la rouille ramenée par le robot *via* une trémie connectée au système d'aspiration au niveau de la jonction chemisage / fourreau ;
- une centrale d'aspiration est disposée au-dessus du logement du robot de retrait. Les produits de corrosion sont séparés de l'air par un cyclone et dirigés vers le pot filtrant décanteur posé sur la plateforme du robot. L'air aspiré est lui-même rejeté dans la galerie au travers d'un filtre THE.

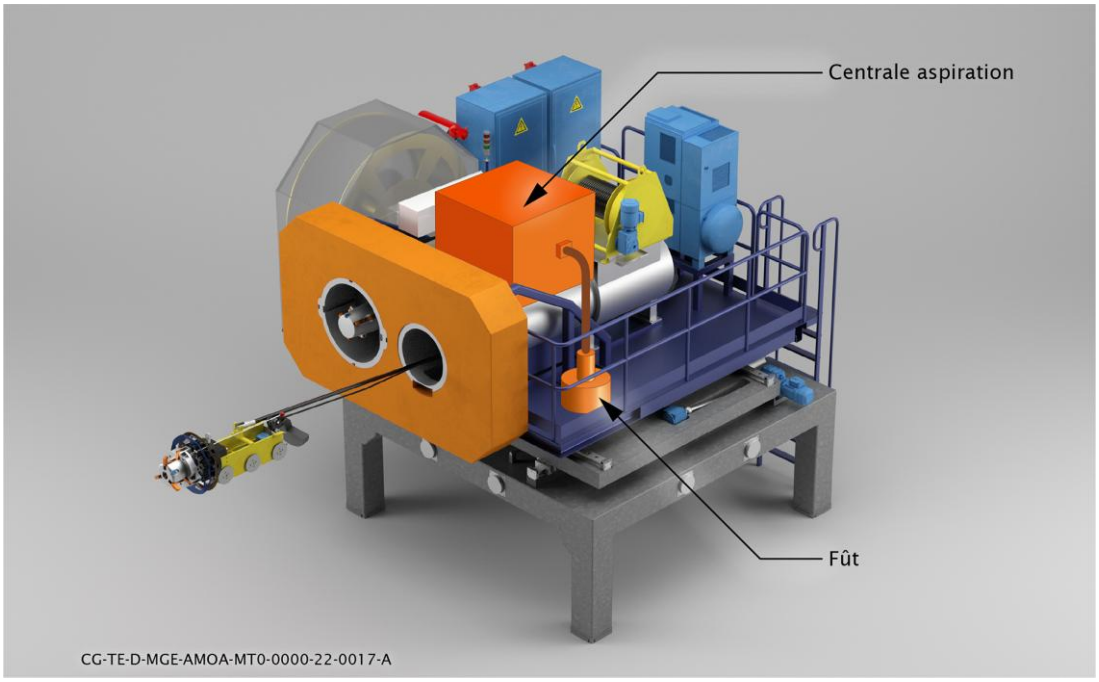



*Figure 4-7* *Principe d'installation d'un système d'aspiration des produits de corrosion sur le système de retrait des colis de stockage HA*

Une fois le pot filtrant rempli, ce dernier est fermé de façon étanche avec son couvercle. Il fait ensuite l'objet de contrôles radiologiques (débit de dose et contamination surfacique) avant d'être transféré (manuellement) vers le local d'entreposage des déchets radioactifs d'exploitation. Le contenu du pot est alors déversé dans un fût destiné aux déchets d'exploitation.

Les fûts de déchets d'exploitation sont ensuite remontés en surface dans l'atelier EP1 pour caractérisation (contrôle d'activité) et envoi ultérieur vers des installations de stockage dédiées.

Les colis de stockage sont transférés en surface selon un processus déjà décrit. Les opérations de retrait sont répétées pour chaque colis, d'un alvéole à l'autre.

En surface, les colis de déchets sont brossés et mis dans l'espace tampon de l'atelier EP1. Ils peuvent être réexpédiés en l'état vers le site du producteur d'origine du colis primaire, moyennant l'étude et la fabrication d'emballages de transport adaptés.

Le scénario étudié est proche de celui décrit au chapitre 4.2.4 du présent volume (les opérations de collecte des produits de corrosion activés sont reconduites à l'identique).

La principale hypothèse supplémentaire de ce scénario est la « non-poursuite du projet à l'issue de la Phipil », ce qui implique soit le retrait des seuls colis de stockage HA du quartier pilote HA (cas traité), soit le retrait des colis de stockage HA du quartier pilote HA et aussi celui des colis MA-VL déjà stockés dans les quatre premiers alvéoles de la T1.

Les temps de séjour des colis de stockage en alvéoles sont également supposés plus long que dans le scénario précédent, induisant un enrouillement potentiellement plus important des colis et du chemisage.

Compte tenu des quantités, volumes et flux de colis de stockage concernés, et s'il est alors attendu leur retrait sur un laps de temps le plus court possible, la construction d'un atelier spécialisé en surface (atelier tampon ou de réouverture des colis de stockage avant expédition) contigu au bâtiment EP1 est envisageable.

La construction d'un tel atelier spécialisé en surface est possible en zone descenderie dans les conditions précisées au chapitre 3.2.1 du présent volume.

### 4.2.5 Niveau 4 (quartier fermé), ouverture des galeries et des alvéoles du quartier pilote HA, retrait et expédition de tous ses colis contaminés par des produits d'activation de l'acier

La pièce 13 « Plan de démantèlement et de fermeture et de surveillance » (3), précise que la fermeture du quartier pilote HA est réalisée (de façon globale) dans la continuité de l'obturation des alvéoles HA du quartier. Concrètement, l'alvéole HA passe du niveau 2 au niveau 3 de fermeture lorsque le système de contrôle d'atmosphère interne est arrêté et déconnecté. Le dispositif de collecte des eaux drainées est également fermé et la canalisation de collecte démontée après la vanne d'arrêt.

Ces opérations de fermeture sont reconduites sur la totalité des alvéoles en actif du quartier pilote HA, en mettant en œuvre les dispositions conservatoires décrites au chapitre 3.2 du présent volume pour protéger la tête d'alvéole et la niche où est logé l'armoire de pilotage du système de contrôle d'atmosphère. Dans la foulée les utilités situées en galerie d'accès sont démontées sur toute sa longueur et il est ensuite procédé au remblayage sur toute sa longueur pour atteindre le niveau 4 de fermeture.

Si un retrait des colis HA du quartier pilote HA est engagé, le passage du niveau 4 au niveau 3 de fermeture requiert d'abord l'évacuation des remblais (dans des conditions et avec des moyens proches de ceux décrits au chapitre 4.2.3 du présent volume pour évacuer les remblais des galeries de liaison du quartier de stockage MA-VL), puis le remontage des utilités en galerie d'accès. Leur remise en fonctionnement s'effectue selon la même logique.

La réouverture de chaque alvéole HA s'effectue en plusieurs étapes pour passer du niveau 3 au niveau 2 de fermeture (celui permettant les opérations de retrait proprement dites) :

- la plaque de protection thermique est déposée ;
- le système de surveillance et de contrôle de l'atmosphère interne de l'alvéole est remonté (après un test préalable de bon fonctionnement en surface) comme le dispositif de gestion et de collecte de l'eau d'exhaure. L'ensemble est connecté aux différentes vannes laissées en attente ;
- l'arrêt prolongé du système de gestion de l'atmosphère et le temps de présence des colis en alvéole rend probable la présence d'eau sous forme liquide, celle de produits de corrosion activés et d'hydrogène (ce dernier génère un risque ATEX intrinsèque). Un contrôle préalable de l'atmosphère (échantillonnage par prélèvement *via* un piquage sur le dispositif de vannes) est réalisé et permet d'établir un premier diagnostic sur les conditions ambiantes ;
- il est ensuite réalisé un balayage à l'azote de l'intérieur de l'alvéole. La présence d'hydrogène potentiellement à des teneurs ATEX dans les gaz chassés implique également une dilution de ces derniers à l'azote avant leur évacuation vers les filtres THE ;
- une fois la teneur en hydrogène revenue à des niveaux acceptables, le système de drainage des eaux est remis en fonction (et les eaux collectées analysées pour y détecter d'éventuels produits de corrosion activés) ;
- le système de contrôle d'atmosphère est ensuite arrêté pour permettre la dépose de la bride.

Le niveau de fermeture de niveau 2 étant retrouvé, le bouchon de radioprotection et de fermeture et les colis de stockage peuvent alors être retirés dans les conditions décrites aux chapitres 4.2.4 et 4.2.5 du présent volume, et ce pour tous les alvéoles HA du quartier pilote HA.

**NOTE IMPORTANTE**

Si les eaux drainées sont chargées en produits de corrosion activés, elles sont conditionnées et remontées au jour pour évacuation et prise en charge dans un centre de traitement adapté.

# 4.3 Scénarios hypothétiques de retrait « sûreté/post-accidentel »

**Ces scénarios ne relevant pas de l'exploitation du stockage, ils ne sont pas repris au chapitre 5 du présent volume qui présente une proposition simplifiée de programmation d'essais de retrait d'exploitation en Phipil.**

## 4.3.1 Retrait d'un colis MA-VL contaminé « manutentionnable » après fixation de la contamination[4]

**» NOTE IMPORTANTE**

L'éventualité d'une contamination d'un colis est considérée comme peu vraisemblable et est étudiée au titre de la robustesse de l'installation. Il s'agit d'une situation accidentelle en extension du dimensionnement. Plusieurs options de gestion post-accidentelles sont envisagées dans le cadre de cette situation accidentelle en extension du dimensionnement. Ainsi, ces options sont les suivantes :

- la reconfiguration du second système de confinement (mise en place de filtres THE supplémentaires en entrée et en sortie d'alvéole) et la poursuite de la mise en stockage ;
- la mise en place d'opérations en vue de la fermeture anticipée de l'alvéole ;
- le retrait du ou des colis défaillants de l'alvéole.

Le présent chapitre détaille l'option de gestion post-accidentelle de retrait d'un colis défaillant. Les autres options sont présentées au chapitre 9.4 du volume 9 de ce rapport.

Ce scénario hypothétique post-accidentel traite des opérations à mettre en œuvre pour retirer un colis MA-VL contaminé (ayant perdu ses propriétés de confinement)[5], le transférer en surface et le remettre dans une configuration permettant de le stocker à nouveau ou éventuellement le charger dans un emballage de transport pour expédition vers une autre filière de gestion. Dans ce scénario, le colis reste manutentionnable (pas d'altération structurelle rédhibitoire à sa manipulation), ce qui aura été vérifié par un robot d'inspection (caméra) en préalable à son retrait de la partie active de l'alvéole MA-VL.

Les inspections menées en partie utile d'alvéole et celles réalisées au niveau des filtres THE viennent aider à l'établissement du diagnostic préalable et concourent à la programmation du retrait.

Lorsqu'une contamination potentielle est détectée au sein d'un alvéole MA-VL, des dispositifs supplémentaires, par rapport au dispositif de retrait d'exploitation évoqué au chapitre 4.1 du présent volume, doivent être mis en place. Une réserve d'espace est prévue à cette fin dans la cellule de manutention pour l'implantation de ces équipements spécifiques (cf. Chapitre 2.2.1 du présent volume).

[4] Cas traité dans le document technique de la récupérabilité du dossier d'options de sûreté.
[5] Le retrait du colis ayant perdu son confinement est une des solutions de gestion post-accidentelle associée à cette situation accidentelle en extension du dimensionnement pouvant être retenues. Les solutions sont présentées au chapitre 9 du volume 9 du présent rapport.

**» NOTE IMPORTANTE**

En cas de résultats positifs du contrôle de contamination surfacique du colis MA-VL « suspect », et compte tenu de l'effet et du sens de la ventilation, les colis situés le plus en fond d'alvéole que le colis concerné, ont une probabilité d'être légèrement contaminés. Ces colis MA-VL sont donc susceptibles d'être également retirés. Dans ce cas, et si la décision de retrait est prise, ils subissent alors le contrôle de contamination surfacique préalable. Le procédé de fixation de la contamination leur est ensuite appliqué, si nécessaire (si la contamination surfacique est avérée).

#### 4.3.1.1 Contrôle de contamination du colis MA-VL

Un contrôle de contamination des faces du colis est réalisé par frottis à l'aide de deux robots implantés de part et d'autre du colis sur la structure supportant le colis. La combinaison des mouvements des deux robots permet d'accéder à toutes les faces du colis, y compris la face inférieure (cf. Figure 4-8 à figure 4-10).

Le contrôle de contamination est réglé en hauteur pour s'adapter à la nappe de colis concernée.

**» NOTE IMPORTANTE**

La face inférieure d'un colis retiré du niveau 0 est accessible pour contrôle dans la mesure où le colis est maintenu surélevé sur des appuis au-dessus d'une fosse prévue dans le radier de la cellule de manutention. Pour permettre l'accès des robots à la fosse, les caillebotis de protection sont préalablement retirés.

Un contrôleur de contamination situé au sol à proximité de chaque robot permet l'analyse des échantillons. Un conteneur d'évacuation des frottis permet la récupération des déchets.

La nature et la qualité des frottis sont validées après une phase d'essais préalables.




*Figure 4-8* *Schéma de principe du dispositif de contrôle de la contamination en cellule de manutention (colis MA-VL stocké en nappe Niveau 0 de la partie active)*




*Figure 4-9* *Schéma de principe du dispositif de contrôle de la contamination en cellule de manutention (colis MA-VL stocké en nappe niveau 1 de la partie active)*

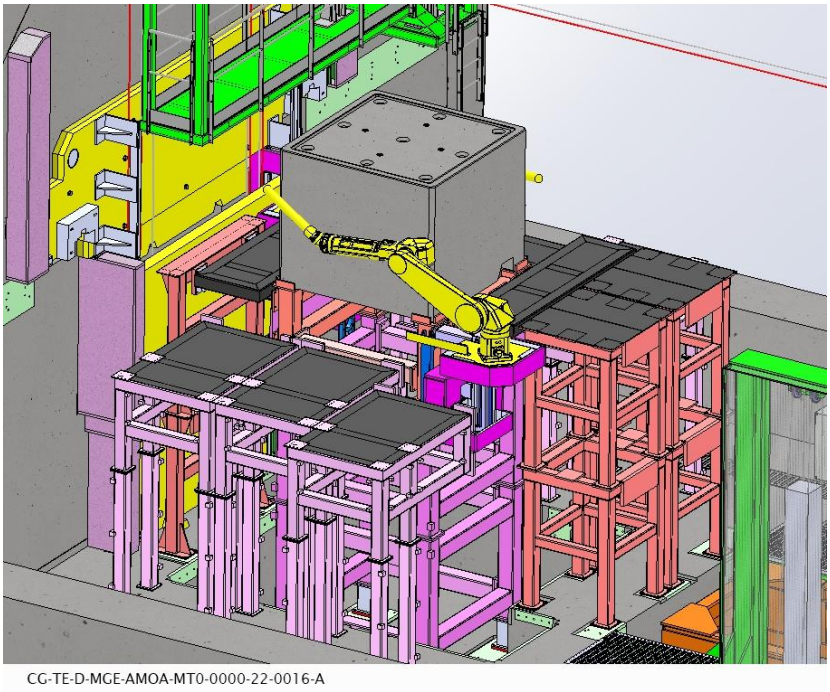



*Figure 4-10* *Schéma de principe du dispositif de contrôle de la contamination en cellule de manutention (colis MA-VL stocké en nappe niveau 2 de la partie active)*

#### 4.3.1.2 Traitement de la contamination

En cas de contamination avérée, son traitement intégral doit être effectué avant de procéder à l'évacuation du colis de stockage en surface.

La solution de fixation de la contamination retenue est une pulvérisation d'un vernis adapté à ce type de besoin. Le produit préconisé est non inflammable, sans risque d'induire un risque ATEX. L'équipement de pulvérisation est intégré aux robots de contrôle.

À l'issue de l'installation des robots en cellule de manutention, une mémorisation des mouvements à effectuer pour contrôler et traiter toutes les faces du colis de stockage contaminé est d'abord réalisée sur un colis factice de même type (même gabarit).

Pour l'ensemble des colis de stockage à retirer, les opérations de contrôle et de traitement sont réalisées automatiquement par les robots. Le pilotage manuel des robots de contrôle et de traitement de la contamination reste néanmoins possible depuis le poste de conduite local situé en galerie d'accès.

Une fois l'opération de contrôle et de traitement de la contamination terminée, le colis de stockage est récupéré par le pont stockeur et transféré jusqu'à l'élévateur. La suite du processus de retrait s'effectue selon la procédure inverse de celle du stockage. Le colis remonte alors jusqu'à la surface pour être traité dans l'installation EP1.

**» NOTE IMPORTANTE**

Dès qu'une hotte remonte avec un colis MA-VL retiré, la hotte est potentiellement décontaminée avant de repartir dans le process normal d'exploitation. La décontamination en surface de la hotte impose le montage d'un sas provisoire (cf. Figure 4-11). Ce sas est mis en dépression et ventilé par un système propre également provisoire. L'air extrait du sas est rejeté après filtration THE par un conduit débouchant directement dans la gaine de ventilation du réseau d'extraction du local de maintenance.

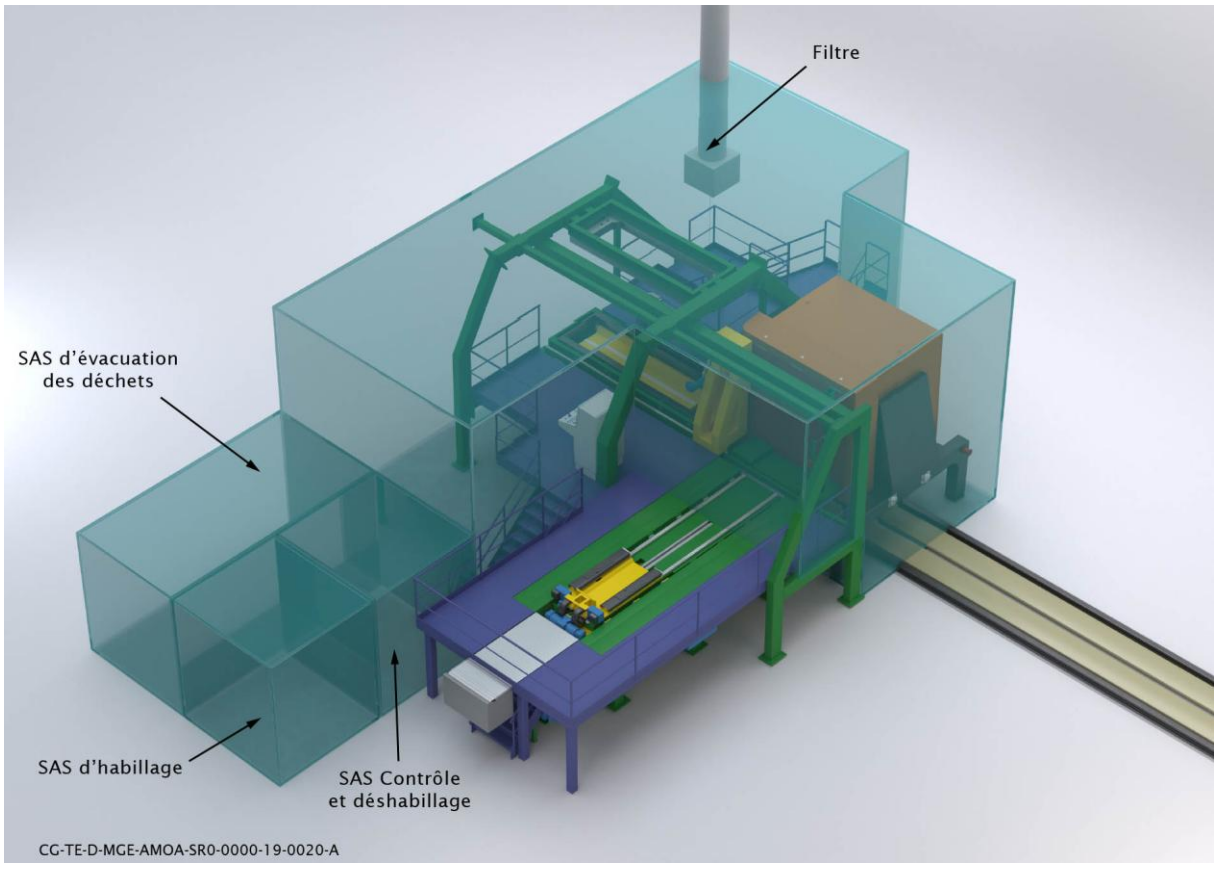



*Figure 4-11* *Schéma de principe du système provisoire de décontamination d'une hotte MA-VL situé dans le poste de maintenance*

### 4.3.1.3 Traitement d'un colis MA-VL contaminé remonté en surface

Les étapes ci-dessous décrivent le cheminement des colis de stockage MA-VL dans le bâtiment EP1 :

- étape 1 : déchargement du colis de stockage MA-VL extrait de la hotte MA-VL et nouveau contrôle de contamination ;
- étape 2 : transfert du colis de stockage récupéré de la cellule de mise en hotte MA-VL jusqu'à la ligne de by-pass de la zone tampon principale des colis de stockage *via* le transbordeur ;
- étapes 3 à 5 : transfert du colis de stockage récupéré de la ligne de by-pass de la zone tampon principale des colis de stockage jusqu'à la cellule de réouverture des colis de stockage MA-VL ;
- étapes 6 à 10 : si besoin, réouverture du colis de stockage-MA-VL récupéré (retrait du vinyle à l'aide des bras télémanipulateurs et du plateau tournant dans la cellule de réouverture des colis de stockage), contrôle des colis primaires et confection d'un nouveau colis de stockage MA-VL assurant les fonctions des colis de stockage telles que présentées au chapitre 2.2.2 du volume 3 du présent rapport) ;
- étape 11 : transfert du colis de stockage-MA-VL jusqu'en zone tampon principale du bâtiment EP1 *via* le transbordeur.

Les colis sont ensuite mis en attente avant remise en stockage suivant le processus classique de stockage ou éventuellement chargement dans un emballage de transport pour expédition vers une autre filière de gestion.

Ces différentes étapes et les circulations (cheminements) associées sont illustrées ci-après.

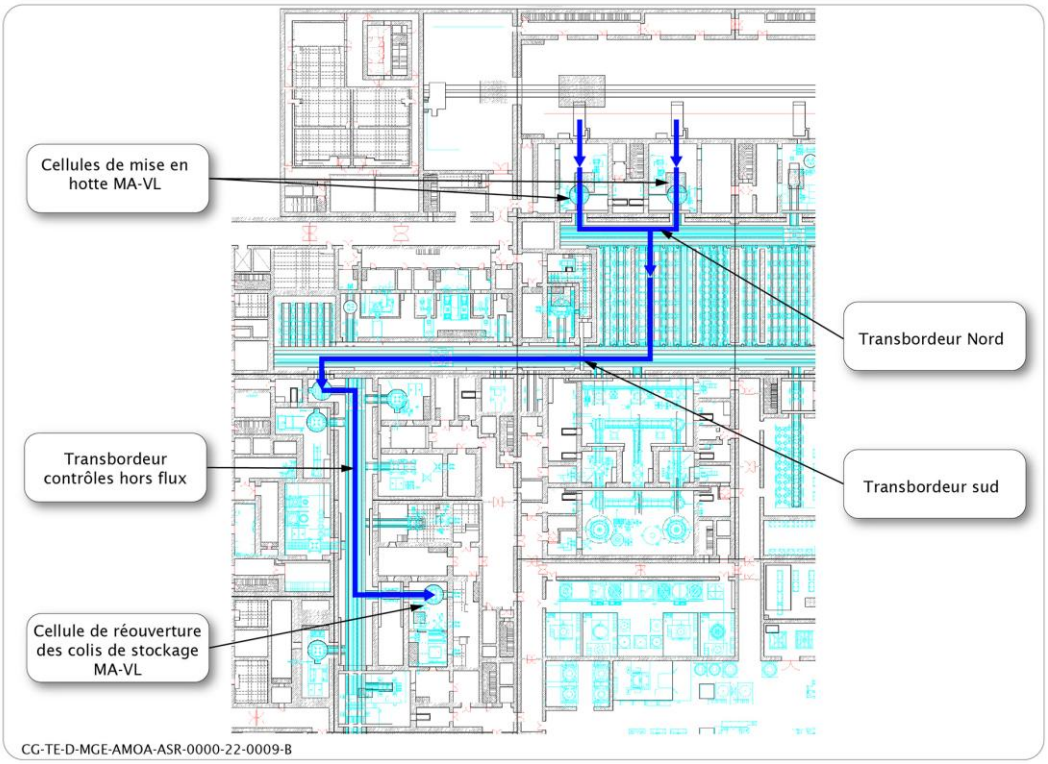



*Figure 4-12* *Illustration de la circulation du colis de stockage MA-VL récupéré de la hotte jusqu'à la cellule de réouverture des colis de stockage dans le bâtiment EP1*




*Figure 4-13* *Circulation du colis de stockage MA-VL récupéré depuis la cellule de réouverture des colis de stockage jusqu'à la zone tampon principale dans le bâtiment EP1*

### 4.3.2 Retrait d'un colis HA manutentionnable contaminé à la suite d'une altération localisée ou d'une perte d'intégrité d'un conteneur voisin

Compte tenu de la robustesse du colis HA (constitué du colis primaire et de son conteneur de stockage épais) et de sa propreté radiologique (vérifiée en installation de surface en préalable à son transfert en souterrain et à sa mise en alvéole de stockage), le colis HA assure le confinement des substances radioactives dans toutes les situations rencontrées sur toute la durée de la phase de fonctionnement de l'INB , sans nécessiter d'ajouter un second système de confinement notamment lors des phases de mise en stockage et de retrait (cf. Chapitre « risque de dissémination des substances radioactives » du volume 9 du présent rapport).

Les fonctions attribuées en conception à la hotte et la tête d'alvéole HA ne comprennent donc pas de dispositions constructives particulières pour gérer le cas d'une contamination en cas de perte du confinement.

Il est néanmoins postulé le cas d'un scénario hypothétique « sûreté post-accidentel » décrivant les opérations et les adaptations des dispositifs existants à mettre en œuvre pour retirer un colis HA contaminé, le transférer en surface et le remettre dans une configuration permettant de le stocker à nouveau.

Les opérations spécifiques de surveillance concourant à identifier une situation de contamination sont détaillées au chapitre 2.1.7 du présent volume.

Les chapitres suivants présentent les adaptations à apporter en préalable au retrait, en lien avec le confinement, aux ouvrages concernés (en galerie d'accès et au pourtour de la tête d'accostage, en

quartier pilote HA et en quartier de stockage HA) ainsi qu'aux équipements dans lesquels les colis transitent. Les opérations de retrait proprement dites sont également décrites.

#### 4.3.2.1 Ouvrages souterrains impactés par les opérations de retrait

Les ouvrages souterrains du quartier pilote HA potentiellement impactés par les opérations de retrait dans le scénario étudié sont illustrés ci-dessous : il s'agit de la galerie de liaison, de la galerie d'accès, de la recoupe et de la galerie d'évacuation-secours.

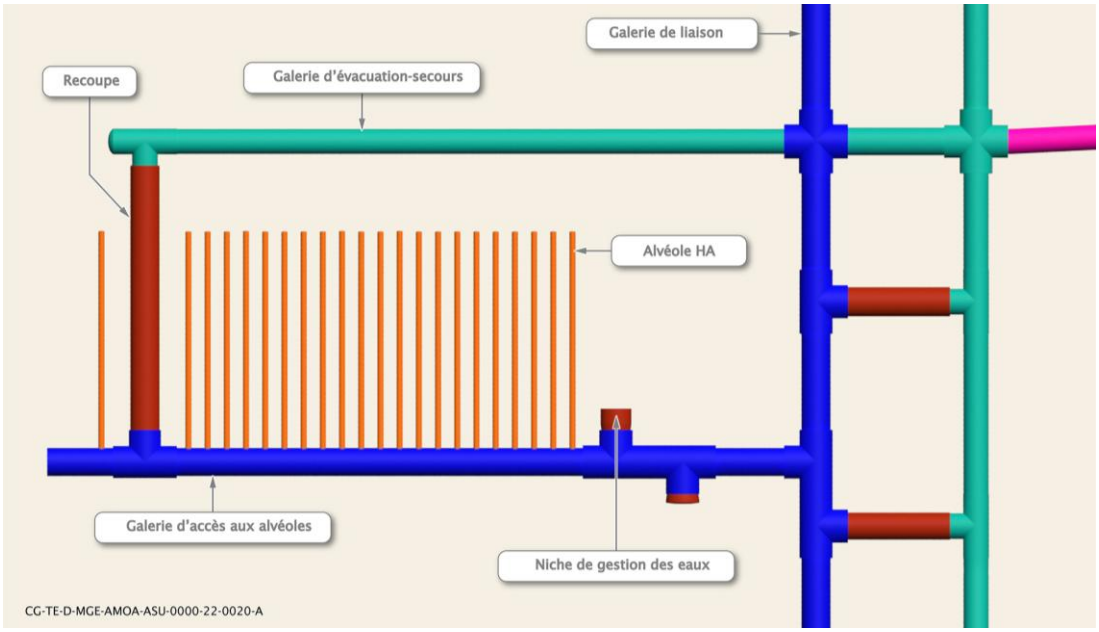



*Figure 4-14* *Schéma de principe du quartier pilote HA concerné par le retrait d'un colis HA contaminé*

Les ouvrages souterrains du quartier de stockage HA potentiellement impactés par les opérations de retrait dans le scénario étudié sont illustrés en figure 4-15 : il s'agit de la galerie de liaison, de la galerie d'accès, de la recoupe et de la galerie d'évacuation-secours. Le bloc constitué des alvéoles, des recoupes et des galeries d'accès est appelé « module ».

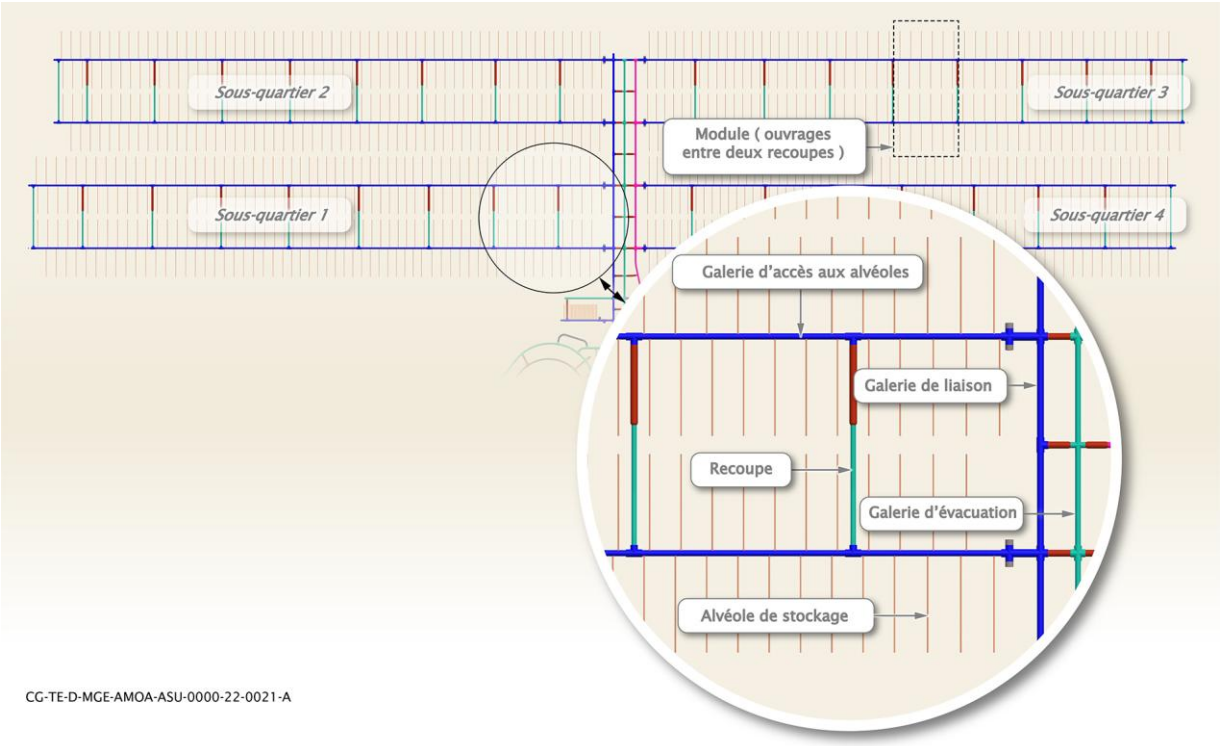



*Figure 4-15* *Schéma de principe du module du quartier de stockage HA concerné par le retrait d'un colis HA contaminé*

Le massif d'accostage et la tête de l'alvéole HA concerné par la contamination sont les constituants assurant la liaison de l'alvéole de stockage avec la galerie d'accès et l'interface avec les hottes et les robots amenés à intervenir dans l'alvéole, également impactés dans le scénario étudié.

### 4.3.2.2 Ouvrages ou dispositifs de manutention en surface concernés

Les ouvrages et dispositifs de manutention situés en bâtiments nucléaires de surface concernés par les opérations de retrait dans le scénario étudié comprennent :

- la façade d'accostage HA (figure 4-16) qui permet le passage du colis HA de la hotte vers la cellule de mise en hotte et inversement ;

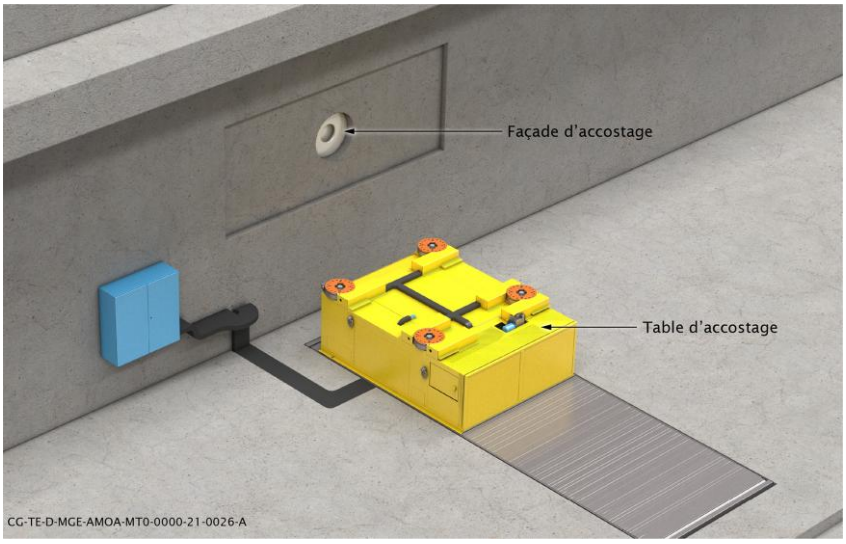



*Figure 4-16* *Illustration de la façade d'accostage de la hotte HA en surface*

- la cellule de mise en hotte HA (figure 4-17) :

  La cellule de mise en hotte HA (comme indiqué en chapitre 4 du volume 5 du présent rapport comprenant une local « process mise en hotte HA » et un sas d'accès palette respectivement de classe C2 et C1) permet de mettre les colis de stockage HA confectionnés dans les hottes HA pour les transférer dans les ouvrages souterrains. Dans le cadre des opérations de retrait, cette cellule est utilisée en fonctionnement en sens inverse. En suivant cet ordre inverse de fonctionnement, la cellule est constituée des éléments principaux suivants :

  - ✓ un basculeur permettant de remettre le colis de stockage HA à la verticale après extraction de la hotte (la hotte HA se charge de pousser le colis dans le basculeur) ;
  - ✓ un pont roulant de cellule permettant de manutentionner les colis HA sur les différents postes de la cellule ;
  - ✓ un poste de contrôle du niveau de contamination et du débit de dose des colis HA remontés du souterrain ;
  - ✓ un sas d'évacuation des colis HA vers la cellule de réouverture des colis de stockage HA ;

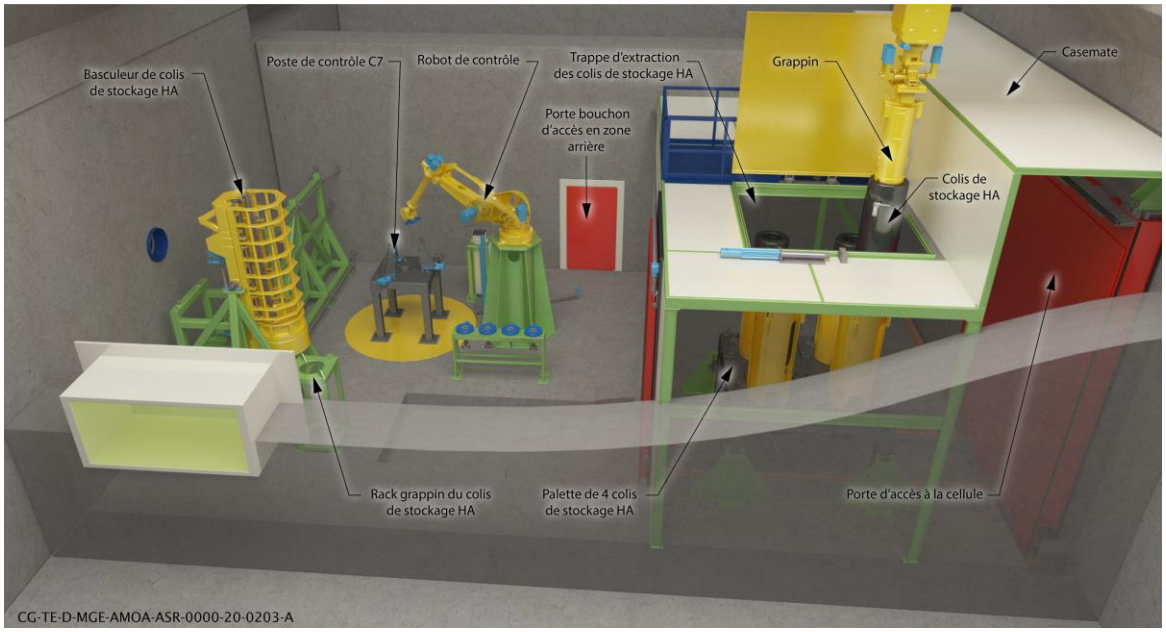



*Figure 4-17 Illustration de la cellule de mise en hotte HA*

- la cellule de réouverture des colis de stockage HA (figure 4-18).

  La cellule de réouverture des colis de stockage HA (classe de confinement C2) permet de rouvrir un colis de stockage pour en extraire le colis primaire et, le cas échéant, le réintroduire dans un conteneur neuf. Cette cellule est principalement constituée de :

  - ✓ un poste de découpe du couvercle et des outils associés ;
  - ✓ un moyen de mesure permettant de vérifier le niveau de contamination du colis primaire récupéré ;
  - ✓ un pont de cellule et une potence pour la manutention des colis de stockage HA, colis primaires, HA, conteneurs de stockage HA et outils de découpe.



**NOTE IMPORTANTE**

Les ouvrages et dispositifs de manutention décrits sont ceux de du bâtiment de surface EP1. À ce stade, il est postulé que les options techniques retenues en lien avec les opérations de retrait sont similaires pour les colis HA du quartier pilote HA et les colis du quartier de stockage HA.

### 4.3.2.3 Solution retenue pour le retrait du colis contaminé HA0 en quartier pilote HA

#### 4.3.2.3.1 Confinement

La solution retenue pour le quartier pilote HA est le confinement de la galerie d'accès sur toute sa longueur avec réalisation de sas temporaires aux extrémités pour faire transiter les hottes vers la surface.

#### 4.3.2.3.2 Manutention et transfert du colis HA0 dans la hotte

Dans le cas hypothétique d'une remontée d'un colis HA0 contaminé depuis son alvéole de stockage vers les ouvrages en surface, la porte de la hotte prévue pour les transferts, fait l'objet d'une étanchéification (mise en place de vinyle).

Les dispositions ci-dessus concourent à limiter le risque de propagation de la contamination. La face interne de la porte coulissante de la hotte est potentiellement contaminée à chaque transfert de colis HA0 et peut nécessiter une décontamination de la hotte après chaque déchargement de colis retiré (une protection vinyle mise avant l'ouverture permet de limiter l'opération de décontamination).

#### 4.3.2.3.3 Modification de la ventilation des galeries

Le quartier pilote HA est exploité en parallèle des quatre premiers alvéoles du quartier de stockage MA-VL. Compte tenu de l'architecture souterraine et de la séparation aéraulique de la ventilation des quartiers, la modification de l'équilibrage du réseau de ventilation du quartier pilote HA a un impact limité sur les autres parties des ouvrages souterrains.

Le principe de ventilation retenu est le suivant : l'air est prélevé depuis la galerie de liaison vers la galerie d'accès. L'air de la zone isolée est rejeté directement en voute après être passé dans des filtres THE installés pour le besoin, *via* une connexion au niveau de la trappe d'extraction existante en fin de galerie d'accès. La ventilation de la galerie d'évacuation-secours du quartier pilote HA n'est pas modifiée.

La galerie d'accès passe en classe D2. Compte tenu de la section libre et en considérant l'ensemble du linéaire de la galerie, le débit nécessaire dans la galerie en classe D2 est inférieur à celui mis en œuvre en situation normale. Par conséquent le débit retenu est le débit nominal. Ces dispositions sont conformes à la norme ISO 16647 de 2018 spécifique à la mise en place d'un confinement de chantier et retenues pour ce scénario (21).

#### 4.3.2.3.4 Gestion des produits de corrosion et des effluents liquides

La gestion des produits de corrosion susceptibles d'être collectés (et celle des effluents liquides) lors du retrait du colis HA0 et le phasage des opérations de retrait du colis de la tête d'alvéole est identique à celle détaillée au chapitre 4.2.4 du présent volume.

#### 4.3.2.3.5 Traitement d'un colis contaminé en surface

Au même titre qu'en quartier pilote HA (en souterrain), un système de sas est disposé en surface au niveau de la façade d'accostage de la hotte. En raison de la manutention de cette hotte *via* la machine à levage limité, il est prévu l'utilisation d'un sas mobile, placé par-dessus la hotte, une fois celle-ci déposée par la machine à levage limité devant la façade d'accostage et juste avant ouverture.

Selon la nature des défauts constatés sur le colis HA0 récupéré, deux possibilités de traitement sont envisagées :

##### a) Variante 1 : nettoyage du colis

De façon similaire à ce qui est défini au chapitre 4.2.4 du présent volume, le colis est acheminé jusqu'à la cellule de réouverture des colis de stockage pour y être brossé. Lorsque cette opération est terminée, le colis peut être redescendu au fond ou gardé en local entreposage tampon du bâtiment nucléaire de surface en attente de stockage.

##### b) Variante 2 : changement de conteneur

Cette variante consiste à re-confectionner le colis de stockage en faisant appel aux équipements décrits au chapitre 4.2.4 du présent volume.

#### 4.3.2.3.6 Gestion du zonage déchets

##### a) Les dispositions suivantes sont prises avant les opérations de retrait

La galerie d'accès est classée en fonctionnement nominal en « zone à déchets conventionnels » (cf. Volume 5 du présent rapport).

Préalablement aux opérations de retrait, un « zonage opérationnel temporaire » est rendu effectif sur la zone isolée de la galerie qui est alors classée temporairement en « zone à production possible de déchets nucléaires ». À la suite des opérations de retrait, l'assainissement et le contrôle radiologique de la zone permettent de rétablir son classement en « zone à déchets conventionnels ».

Les mesures suivantes sont prises afin de limiter le risque de contamination des équipements et des surfaces de la zone concernée et faciliter les contrôles et les éventuelles opérations ultérieures de décontamination :

- réalisation d'une protection des têtes d'alvéoles ne faisant pas l'objet de l'opération de retrait (vinyle). Le pourtour (le parement) environnant de la tête d'alvéole HA faisant l'objet du retrait est aussi protégé (vinyle) pour limiter le risque de contamination ;
- pose d'une protection des niches contenant les dispositifs de contrôle d'atmosphère (vinyle) et des autres équipements situés en galerie d'accès (ceux dont la protection ne gêne pas le fonctionnement) ;
- protection des surfaces de la galerie (sol et paroi) par vinyle ou mise en œuvre d'une peinture décontaminable.

Un sas de contrôle est mis en place à l'entrée/sortie de la hotte de la galerie d'accès afin de permettre son contrôle/assainissement avant de rejoindre le reste des galeries classées en « zone à déchets conventionnels ».

Le chariot « porte hotte » est également l'objet d'un contrôle de la contamination pouvant induire le cas échéant une opération de décontamination.

#### b) Les opérations suivantes sont à mener après le retrait

Une fois les opérations de retrait réalisées le reclassement de retrait en « zone à déchets conventionnels » nécessite :

- le contrôle de la contamination surfacique labile des différents équipements ayant servi au retrait et leur assainissement éventuel ;
- le contrôle de la contamination surfacique labile de l'ensemble des surfaces accessibles de la zone temporairement confinée afin de détecter les surfaces nécessitant des opérations d'assainissement ;
- le démontage/l'enlèvement des protections temporaires mises en place lors du classement en « zone à production possible de déchets nucléaires » temporaire afin de limiter les risques de contamination et faciliter les opérations d'assainissement ;
- le contrôle final que l'ensemble des surfaces possède un niveau de contamination surfacique labile qui est inférieur aux seuils ;
- le démontage des sas ;
- le reclassement en « zone à déchets conventionnels » de la zone décontaminée.

### 4.3.2.4 Solution retenue pour le quartier de stockage HA

#### 4.3.2.4.1 Confinement

La solution retenue pour le quartier de stockage HA est le confinement d'un module (ou de deux modules consécutifs) avec un sas pour faire transiter les hottes HA contenant des colis de déchets HA vers la surface.

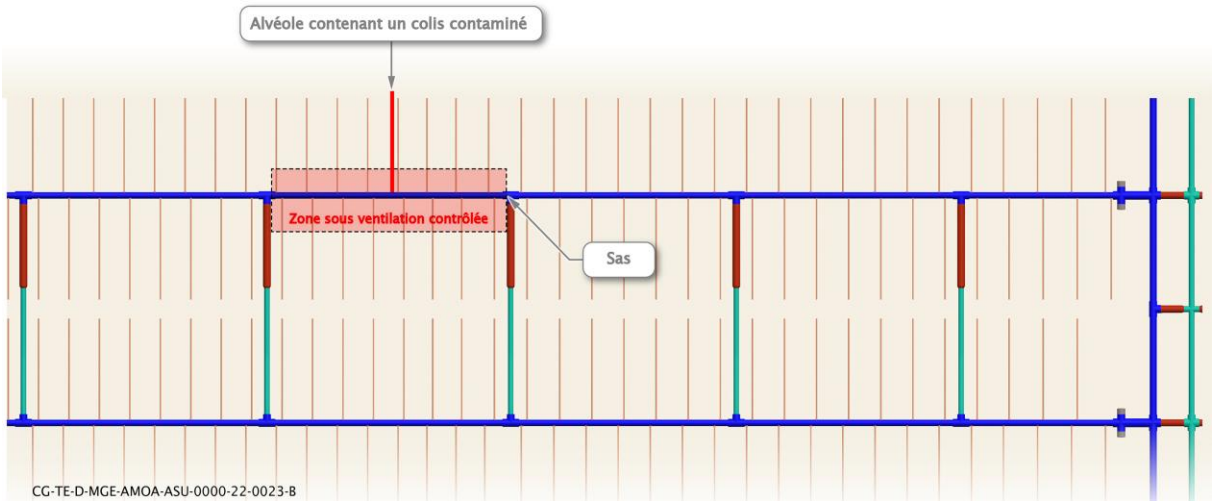



*Figure 4-19* *Schéma de principe du confinement d'un module pour le quartier de stockage HA*

#### 4.3.2.4.2 Manutention et transfert du colis HA1/HA2 contaminé dans la hotte

Le dispositif envisagé pour le besoin de manutention et de transfert du colis HA1/HA2 contaminé depuis l'alvéole jusque dans la hotte est considéré identique à celui décrit pour le colis HA0 du quartier pilote HA.

#### 4.3.2.4.3 Ventilation des galeries

Le principe de ventilation est différent de celui retenu pour le quartier pilote HA, car la mise en place de la zone confinée modifie le cheminement de l'air dans le quartier.

Afin d'assurer un apport d'air en aval de la zone, il est nécessaire d'utiliser les recoupes en amont et en aval de la zone isolée pour assurer un transfert d'air et maintenir le débit de la ventilation de la galerie d'accès en aval de la zone isolée.

En entrée de galerie d'accès, l'air est transféré depuis la galerie de liaison. L'air traverse la recoupe située juste avant la zone isolée, pour rejoindre la galerie d'accès libre. Au niveau de la recoupe située en aval de la zone isolée, une partie de l'air est redirigée depuis la galerie d'accès à l'autre.

Une autre partie de l'air est transférée vers la zone isolée.

**» NOTE IMPORTANTE**

Dans le cas où l'alvéole HA se situe à proximité du fond de la galerie d'accès en ne laissant pas la place pour intégrer les équipements de filtration directement en fond de galerie, les équipements de filtration sont déportés dans la dernière recoupe qui est alors intégrée à la zone isolée.

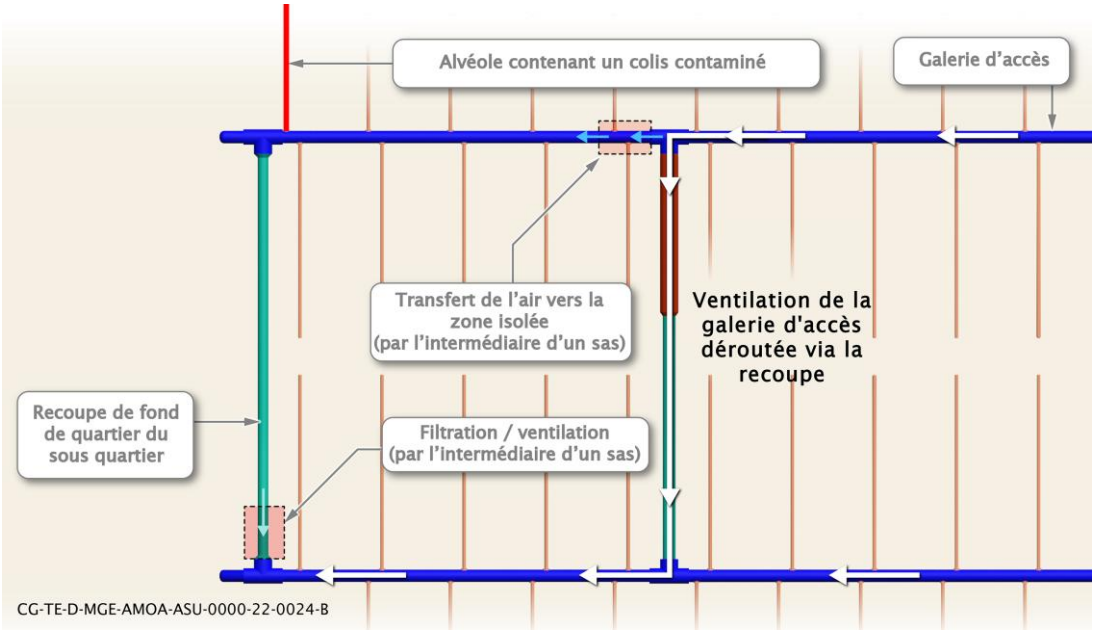



*Figure 4-20* *Principe de ventilation en fond de galerie d'accès du quartier de stockage HA*

Le transfert d'air d'une galerie d'accès à l'autre au travers des recoupes peut être réalisé :

- soit par un rééquilibrage de la ventilation ;
- soit par la mise en œuvre d'une ventilation spécifique (ensemble de ventilateurs et de gaines mis en place à titre temporaire) dans les recoupes.

#### 4.3.2.4.4 Traitement d'un colis HA1/HA2 contaminé en surface

Les colis de stockage HA1/HA2 sont traités dans le bâtiment nucléaire de surface EP2. Le dispositif envisagé pour la récupération et le traitement du colis HA1/HA2 contaminé est à ce stade des études de même nature que celui décrit pour le colis HA0 traité dans le bâtiment nucléaire de surface EP1.

#### 4.3.2.4.5 Gestion du zonage déchets

Les principes retenus pour le quartier pilote HA sont reconduits pour le quartier de stockage HA, à ce stade des études, en ce qui concerne les précautions à prendre et les dispositions à mettre en œuvre avant les opérations de retrait et les actions de décontamination postérieures au-retrait.

### 4.3.2.5 Autres dispositions

La présence de personnel n'est pas nécessaire à poste (dans la zone isolée) pour réaliser les opérations de retrait. La zone est néanmoins surveillée vis-à-vis de la contamination atmosphérique par mise en place d'une balise prélevant l'atmosphère ambiante dans la gaine d'extraction de la ventilation avant la filtration.

Pour les opérations de maintenance ou d'intervention à poste en cas de panne, le personnel est équipé avec des équipements de protection individuels (EPI) (tenues d'intervention, gants, appareils de protection respiratoire - APVR...) et sous la surveillance de balises mobiles mises en œuvre spécifiquement.

En termes d'exposition externe, le terme source principal dans la zone isolée est le colis de stockage HA contaminé présent dans la hotte ou les colis stockés dans les alvéoles HA. Ce risque d'exposition reste similaire à celui présent dans la configuration d'exploitation nominale. La protection du personnel est assurée soit par la protection radiologique de la hotte HA soit par les bouchons de radioprotection d'exploitation ou de fermeture et la bride posée en tête d'alvéole HA.

# 5

# La nature des essais de retrait en phase industrielle pilote


5.1 Objectifs et nature des essais de récupérabilité d'exploitation 102
5.2 Retrait d'exploitation d'un colis MA-VL non contaminé, remonté à la surface 102
5.3 Retrait d'exploitation de colis MA-VL non contaminés transférés dans un autre alvéole MA-VL 103
5.4 Retrait d'exploitation d'un colis HA non contaminé remonté à la surface 104
5.5 Retrait d'exploitation de colis HA non contaminés transférés dans un autre alvéole HA 104

## 5.1 Objectifs et nature des essais de récupérabilité d'exploitation

Les essais de récupérabilité d'exploitation des colis de stockage s'inscrivent dans la démarche générale de déroulement des essais de qualification puis de mise en service industriel des installations, décrite dans la pièce 20 « Plan de développement de l'installation de stockage Cigéo » (1). Ils peuvent également être réalisés, en fonction des scénarios, ultérieurement, c'est-à-dire en phase d'exploitation proprement dite (de chargement) des ouvrages de stockage.

Les grandes phases d'essais comprennent également celles relatives aux opérations de retrait ; elles comprennent des essais de différents types :

- les essais de qualification « prototype » qui permettent de démontrer que les solutions techniques retenues conviennent aux besoins. Ces essais sont réalisés sur banc ; une partie d'entre eux a déjà été réalisée (cf. Chapitre 2.2.3 du présent volume) ;
- les essais qui permettent de valider la conception, le montage et le fonctionnement des équipements en usine avant livraison sur le centre de stockage, y compris les tests des logiciels. Ces essais « fournisseurs » sont réalisés dans un environnement le plus représentatif possible des conditions de l'installation (en surface et en souterrain) ;
- les essais statiques en cours de montage et de fin de montage permettant le passage en essais fonctionnels ;
- les essais fonctionnels qui permettent de valider la mise au point des équipements et la configuration des paramètres nécessaires au fonctionnement de l'installation conformément aux spécifications ;
- les tests d'ensemble en inactif (y compris tests d'endurance), conduits à poste et à distance, qui permettent de valider le fonctionnement global, l'exploitabilité, la capacité de dépannage et la maintenabilité des installations ;
- les essais qui permettent la prise en compte des contraintes de sûreté, de protection, de sécurité et FSOH ;
- les essais de mise en service industriel en actif qui intègrent la performance et la disponibilité des installations.

À chaque phase d'essai, sont testés :

- le fonctionnement normal des équipements concernés (individuels, sous-ensembles, ensembles, systèmes supports dont la ventilation nucléaire et le contrôle-commande) ;
- le fonctionnement incidentel pour lequel l'exploitation est adaptée selon le type d'incident et peut être réalisée en mode dégradé à partir de différents lieux de conduite (les modes de dépannage et d'intervention sont vérifiés et validés).

Les conditions et périodes au cours desquelles les retraits d'exploitation sont réalisés sont précisées aux chapitres 5.2 à 5.5 du présent volume.

## 5.2 Retrait d'exploitation d'un colis MA-VL non contaminé, remonté à la surface

Dans ce type d'essai, l'alvéole MA-VL est en cours de chargement, au niveau 2 de récupérabilité. Ce retrait d'exploitation est planifié à l'avance et fait partie du programme général d'essais, dont ceux de retrait, à conduire lors de la mise en service industrielle de l'INB.

Le scénario comprend le test de l'ensemble des opérations à mettre en œuvre pour le retrait d'un colis MA-VL, non contaminé, jusqu'à sa mise en place dans un entreposage tampon en surface et l'extraction éventuelle des colis primaires MA-VL hors du conteneur.

Dans ce scénario, il est convenu que seul un colis de stockage directement accessible par le pont stockeur est retiré (c'est-à-dire appartenant à la nappe de colis de stockage en cours de formation). Il n'est pas prévu d'ajouter des équipements supplémentaires par rapport à ceux présents lors des opérations de mise en stockage. Cependant le système télescopique à fourches conçu pour le retrait des colis (cf. Chapitre 2.2.1 du présent volume) peut être monté spécifiquement pour ces essais, même en l'absence de désalignement des piles de colis MA-VL, afin d'en valider le fonctionnement en situation de stockage.

Dans la séquence générale des essais réalisés lors de la mise en service industrielle de l'INB, les essais de récupérabilité sont menés juste après les essais de mise en stockage lors de la phase générale d'essais en inactif. Il en est de même pour les essais en actif de mise en stockage qui sont menés avant que ceux de retrait ne démarrent.

Lors des essais en actif, les dispositifs de maîtrise de l'atmosphère sont en fonctionnement pour s'affranchir du risque ATEX et s'assurer de l'absence de radioactivité détectée au niveau des filtres THE.

Les dispositifs de surveillance (robots, caméras) sont également testés.

**» NOTE IMPORTANTE**

L'extraction éventuelle des colis primaires MA-VL hors du conteneur en installation nucléaire de surface, si elle est décidée, n'est réalisée qu'en inactif (avec des colis primaires factices).

## 5.3 Retrait d'exploitation de colis MA-VL non contaminés transférés dans un autre alvéole MA-VL

Dans ce type d'essai, l'alvéole MA-VL est en cours de chargement, au niveau 2 de récupérabilité. La mise en œuvre de ce retrait d'exploitation est planifiée à l'avance.

Lors de la mise en service de l'installation, une phase d'essai en inactif est prévue avec un nombre limité de colis factices transférés d'un alvéole à l'autre afin de vérifier le bon fonctionnement du processus nucléaire.

Lorsque l'alvéole MA-VL est en exploitation, ce type d'essai est alors répété en actif. Il comprend l'ensemble des opérations à mettre en œuvre dans le cadre du retrait d'une trentaine de colis de stockage d'un alvéole MA-VL (appartenant à une même nappe) pour transfert dans un autre alvéole MA-VL parmi ceux déjà construits et sous réserve de la disponibilité de ce dernier. Cet autre alvéole peut être un ouvrage destiné à stocker des colis identiques à ceux retirés ou bien n'être utilisé que comme « disposition temporaire tampon », en attente de leur réorientation vers leur alvéole d'origine ou vers un autre ouvrage adapté à leur stockage.

**» NOTE IMPORTANTE**

Le transfert de colis de stockage entre deux alvéoles ne peut être réalisé que sous condition d'une compatibilité géométrique des colis avec le génie civil intérieur des deux alvéoles et physicochimique des colis MA-VL entre eux (co-stockage) et que les dispositifs électromécaniques de mise en stockage installés au droit de chacun des deux alvéoles concernés soient également compatibles (ou adaptables). Une adaptation de la programmation du process nucléaire peut aussi s'avérer préalablement nécessaire, avec par exemple une possibilité de piloter ce type d'opération en automatique ou en semi-automatique (en téléopéré ou à poste).

Lors des essais de retrait en actif les dispositifs de maîtrise de l'atmosphère d'alvéole sont maintenus et permettent de s'affranchir du risque ATEX et de s'assurer que le niveau de radioactivité détecté au niveau des filtres THE reste dans les limites prévues. Les dispositifs de surveillance (robots, caméras) sont également testés.

La réalisation de ce scénario dépend aussi de la capacité de transfert et de mise en stockage des colis dans le quartier de stockage MA-VL, dans les configurations suivantes :

- si le transfert est réalisé entre deux alvéoles desservis par la même galerie de liaison, le retrait d'un colis de stockage MA-VL du premier alvéole suivi de sa mise en place dans le second alvéole reste possible en restant dans les installations souterraines ;
- si le transfert est réalisé entre deux alvéoles desservis par des galeries de liaison différentes, le stockage est en revanche impossible en restant dans les galeries souterraines et requiert une remontée préalable en surface pour retourner la hotte sur son chariot.

En tranche T1, la configuration retenue à ce stade dans la programmation générale des essais de retrait est celle où des colis de stockage MA-VL de type CS2 sont retirés de l'alvéole N° 1 et transférés dans l'alvéole N° 3 qui est prévue pour accueillir des colis de ce type également. Cette configuration d'exploitation rend nécessaire la remontée préalable en surface de la hotte.

## 5.4 Retrait d'exploitation d'un colis HA non contaminé remonté à la surface

Dans ce type d'essai, l'alvéole HA est en cours de chargement, au niveau 2 de récupérabilité. La mise en œuvre de ce scénario d'exploitation peut être planifiée à l'avance et faire partie du programme général d'essais de stockage et de retrait à conduire lors de la mise en service industrielle du quartier pilote HA de la T1.

Le scénario comprend l'ensemble des opérations à mettre en œuvre pour le retrait d'un colis HA, non contaminé, jusqu'à sa mise en place dans un local d'entreposage tampon en surface (l'extraction éventuelle du colis primaire HA hors du conteneur n'est pas retenue dans ce scenario, mais reste possible. Si elle est réalisée, c'est en inactif).

Ce scénario d'essai de retrait est d'abord conduit en inactif (la totalité des types d'essais cités au chapitre 5.1 du présent volume est d'abord réalisée, sur banc, en usine, puis dans l'INB), puis dans un second temps en actif (dans ce dernier cas, seul le fonctionnement nominal des équipements et le fonctionnement incidentel sont testés).

Les dispositifs de surveillance et de gestion de l'atmosphère sont également testés lors de cette campagne d'essais (analyse des gaz, balayage de l'atmosphère interne de l'alvéole pour s'affranchir du risque AtEx) en préalable aux opérations de retrait en actif, comme ils l'auront été lors de la mise en stockage des colis.

Lors des essais en actif, les dispositifs permettant de s'assurer de l'absence de radioactivité et les autres dispositifs de surveillance (robots, caméras, systèmes de maîtrise de l'atmosphère interne...) sont également testés.

## 5.5 Retrait d'exploitation de colis HA non contaminés transférés dans un autre alvéole HA

Dans ce type d'essai, l'alvéole est au niveau 2 de la récupérabilité. La mise en œuvre de ce scénario d'exploitation peut être planifiée à l'avance.

Dans la mesure où l'alvéole HA est déjà en exploitation, ce type d'essai est réalisé en actif (il aura été précédé de tests en inactif pour valider le processus nucléaire, sur un nombre limité de colis factices). Il comprend l'ensemble des opérations à mettre en œuvre dans le cadre du retrait d'une quarantaine de colis actifs d'un alvéole HA exploité pour transfert dans un autre alvéole HA parmi ceux déjà construits et vides, et sous réserve de la disponibilité de ce dernier. Cet autre alvéole peut être un ouvrage destiné à stocker des colis identiques à ceux retirés ou bien n'être utilisé que comme « disposition temporaire tampon », en attente de leur réorientation vers leur alvéole d'origine ou vers un autre ouvrage adapté à leur stockage.

À ce stade de la mise en stockage en alvéole, le temps de séjour des colis de stockage avant leur retrait est supposé suffisamment faible pour écarter l'hypothèse d'activation (de contamination) des éventuels produits de corrosion collectés lors du retrait.

Les dispositifs de surveillance et de gestion de l'atmosphère sont également testés lors de cette campagne d'essais (analyse des gaz, balayage de l'atmosphère interne de l'alvéole pour s'affranchir du risque ATEX) en préalable aux opérations de retrait en actif, comme ils l'auront été lors de la mise en stockage des colis.

Lors des essais en actif, les dispositifs permettant de s'assurer de l'absence de radioactivité et les autres dispositifs de surveillance (robots, caméras, systèmes de maîtrise de l'atmosphère interne...) sont également testés.

# TABLES DES ILLUSTRATIONS

## Figures


| | | |
|---|---|---|
| Figure 1-1 | Schéma synthétique des choix de réversibilité laissés au législateur et à la société civile | 8 |
| Figure 1-2 | Échelle internationale de récupérabilité (AEN) | 11 |
| Figure 2-1 | Les principaux constituants du conteneur de stockage : illustration du colis de stockage MA-VL de type CS3 | 19 |
| Figure 2-2 | Illustration de conteneurs de stockage en acier de type CS6 et CS7 | 20 |
| Figure 2-3 | Schéma de principe de l'alvéole MA-VL et de sa galerie d'accès | 22 |
| Figure 2-4 | Illustration de l'agencement des colis de stockage dans la partie utile de l'alvéole MA-VL (exemple avec colis CS4) | 23 |
| Figure 2-5 | Niveaux de fermeture 2 à 5 de l'alvéole MA-VL | 24 |
| Figure 2-6 | Illustration du colis de stockage HA | 27 |
| Figure 2-7 | Schéma de principe d'un colis de stockage HA | 28 |
| Figure 2-8 | Illustration des différents colis de stockage HA | 28 |
| Figure 2-9 | Illustration de l'interface de préhension du colis de stockage HA | 29 |
| Figure 2-10 | Schéma de principe d'un alvéole HA en exploitation | 31 |
| Figure 2-11 | Schéma de principe d'un alvéole HA en attente de fermeture | 31 |
| Figure 2-12 | Schéma de principe de la tête d'alvéole HA et de son armoire technique | 32 |
| Figure 2-13 | Niveaux de fermeture 2 à 5 de l'alvéole HA | 33 |
| Figure 2-14 | Schéma de principe de la tête d'alvéole HA avec son bouchon d'alvéole constitué de quatre conteneurs avec galerie d'accès remblayée | 37 |
| Figure 2-15 | Illustration de la cellule de manutention MA-VL équipée des moyens de contrôle et de fixation de la contamination | 39 |
| Figure 2-16 | Illustration de l'espace réservé en cellule de manutention pour les robots de contrôle et/ou de fixation de la contamination | 39 |
| Figure 2-17 | Illustration du système à fourches télescopiques orientables pour repositionnement ou reprise des colis MA-VL | 40 |
| Figure 2-18 | Illustration de la hotte de retrait pour colis HA | 41 |
| Figure 2-19 | Illustration du robot de retrait pour colis HA | 41 |
| Figure 2-20 | Banc d'essais de retrait de colis de stockage MA-VL | 43 |
| Figure 2-21 | Ilustration du déplacement possible des colis en position latérale (vue de dessus) | 44 |
| Figure 2-22 | Illustration du déplacement possible des colis en position centrale (vue de dessus) | 44 |
| Figure 2-23 | Illustration du système de mesure d'orientation du colis | 45 |
| Figure 2-24 | Illustration de la fourche télescopique insérée dans son passage sous le colis | 45 |
| Figure 2-25 | Test de récupération d'un colis MA-VL désaxé sur sa pile | 46 |
| Figure 2-26 | Test de mise en place et de récupérabilité sur 100 mètres de longueur d'un colis HA dans un alvéole fortement déformé, à l'aide du « robot ESDRED » | 47 |
| Figure 2-27 | Banc d'essais de récupérabilité des colis HA (alvéole en température, avec vapeur d'eau condensée) | 48 |
| Figure 2-28 | Corrosion sévère du chemisage créée pour les essais de retrait de colis HA | 48 |
| Figure 2-29 | Robot de retrait en alvéole HA | 49 |
| Figure 2-30 | Retrait d'un colis HA depuis un alvéole fortement enrouillé | 49 |
| Figure 2-31 | Robot de nettoyage au banc avant introduction | 50 |

| | | |
|---|---|---|
| Figure 2-32 | Effet du robot de nettoyage en intrados d'alvéole après un 1er passage du robot de nettoyage | 51 |
| Figure 2-33 | Collecte des produits de corrosion accumulés en tête d'alvéole HA après nettoyage du chemisage par le robot | 51 |
| Figure 2-34 | Illustration de la position des scellements dans l'architecture souterraine de l'INB | 53 |
| Figure 2-35 | Schéma de principe d'un scellement horizontal en galerie | 54 |
| Figure 2-36 | Schéma de principe d'un scellement dans une galerie (solution alternative en cours d'étude avec massif d'appui) | 55 |
| Figure 2-37 | Schéma de principe d'un scellement dans une galerie (solution alternative en cours d'étude sans massif d'appui) | 55 |
| Figure 2-38 | Exemple de déconstruction par sciage au câble du massif d'appui en béton d'un scellement (essai prototype FSS) | 57 |
| Figure 3-1 | Illustration des rails laissés en alvéole de stockage | 60 |
| Figure 3-2 | Illustration du mur de blocs de radioprotection à la fin du remplissage de l'alvéole | 61 |
| Figure 3-3 | Illustration des zones accueillant le remblai aux extrémités de l'alvéole MA-VL | 62 |
| Figure 3-4 | Principe de dispositif de contrôle de l'atmosphère en alvéole MA-VL | 63 |
| Figure 4-1 | Schéma de principe du système de marinage combiné à une bande transporteuse pour évacuation des déblais | 78 |
| Figure 4-2 | Principe de ventilation à front lors du retrait du remblai de la galerie d'accès, de la zone d'accostage et de la cellule de manutention | 79 |
| Figure 4-3 | Schématisation des dispositifs de prélèvement des gaz en partie utile de l'alvéole MA-VL pour mesures de teneur en H2 | 80 |
| Figure 4-4 | Schéma de principe de l'installation de la gaine de ventilation en galerie de jonction | 81 |
| Figure 4-5 | Schématisation du principe de balayage à l'azote de l'alvéole MA-VL | 81 |
| Figure 4-6 | Illustration de la cellule de manutention rééquipée avant retrait des blocs de radioprotection | 83 |
| Figure 4-7 | Principe d'installation d'un système d'aspiration des produits de corrosion sur le système de retrait des colis de stockage HA | 84 |
| Figure 4-8 | Schéma de principe du dispositif de contrôle de la contamination en cellule de manutention (colis MA-VL stocké en nappe Niveau 0 de la partie active) | 88 |
| Figure 4-9 | Schéma de principe du dispositif de contrôle de la contamination en cellule de manutention (colis MA-VL stocké en nappe niveau 1 de la partie active) | 89 |
| Figure 4-10 | Schéma de principe du dispositif de contrôle de la contamination en cellule de manutention (colis MA-VL stocké en nappe niveau 2 de la partie active) | 89 |
| Figure 4-11 | Schéma de principe du système provisoire de décontamination d'une hotte MA-VL situé dans le poste de maintenance | 90 |
| Figure 4-12 | Illustration de la circulation du colis de stockage MA-VL récupéré de la hotte jusqu'à la cellule de réouverture des colis de stockage dans le bâtiment EP1 | 91 |
| Figure 4-13 | Circulation du colis de stockage MA-VL récupéré depuis la cellule de réouverture des colis de stockage jusqu'à la zone tampon principale dans le bâtiment EP1 | 92 |
| Figure 4-14 | Schéma de principe du quartier pilote HA concerné par le retrait d'un colis HA contaminé | 93 |
| Figure 4-15 | Schéma de principe du module du quartier de stockage HA concerné par le retrait d'un colis HA contaminé | 94 |
| Figure 4-16 | Illustration de la façade d'accostage de la hotte HA en surface | 94 |
| Figure 4-17 | Illustration de la cellule de mise en hotte HA | 95 |

Figure 4-19 Schéma de principe du confinement d'un module pour le quartier de stockage HA 99
Figure 4-20 Principe de ventilation en fond de galerie d'accès du quartier de stockage HA 100

## Tableaux

Tableau 1-1 Rappel du traitement des scénarios de retrait des colis du stockage (cf. Volume 1 du présent rapport) dans les différents volumes du présent rapport 13

# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES


1 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 (2026). Document N°CG-TE-D-PDD-AMOA-SDR-0000-19-0002.

2 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 16 - Plan directeur de l'exploitation. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SDR-0000-19-0001.

3 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 13 - Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-PDG-AMOA-OBS-0000-19-0001.

4 Décision du 21 février 2020 consécutive au débat public dans le cadre de la préparation de la cinquième édition du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Ministère de la Transition écologique et solidaire (2020). Journal officiel de la République française (JORF), N°TRER2005279S.

5 Directive n° 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs. Conseil de l'Union européenne (2011). Journal officiel de l'Union européenne, N°CELEX:32011L0070L199.

6 Stockage définitif des déchets radioactifs - Prescriptions de sûreté particulières. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2011). N°SSR-5. 92 p.

7 Dossier d'options techniques de récupérabilité (DORec). Andra (2016). Document N°CGTEDNTEAMOARV00000150059. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-11/CG-TE-D-NTE-AMOA-RV0-0000-15-0059-A%20DOREC.pdf.

8 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la conception du conteneur de stockage des colis MA-VL. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-CS0-0000-19-0003.

9 Le socle de connaissances scientifiques et techniques du centre de stockage Cigéo - Les référentiels de connaissances. Les matériaux cimentaires. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-OBS-0000-20-0013.

10 Le socle de connaissances scientifiques et techniques du centre de stockage Cigéo. Recueil des fiches bilan scientifiques et techniques. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-LST-AMOA-TR0-0000-20-0001.

11 Le socle de connaissances scientifiques et techniques du centre de stockage Cigéo - Les notes conceptuelles. L'évolution chimique des alvéoles MA-VL et du Callovo-Oxfordien en champ proche. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SR2-0000-19-0009.

12 Arrêté du 13 juin 2017 portant homologation de la décision n° 2017-DC-0587 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 mars 2017 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage. Ministère de la Transition écologique et solidaire (2017). Journal officiel de la République française (JORF), N°TREP1715555A.

13 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 (2025). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-ASU-0000-19-0045.

14 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. La stratégie de surveillance de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-OBS-0000-19-0005.

15 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la conception des conteneurs de stockage des colis HA. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-CS0-0000-19-0002.

16 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la conception de l'alvéole HA. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-ASU-0000-19-0044.

17 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la conception du process nucléaire souterrain. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-MT0-0000-19-0032.

18 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la définition des ouvrages de fermeture. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-FER-0000-19-0045.

19 Le socle de connaissances scientifiques et techniques du centre de stockage Cigéo - Les référentiels de connaissances. Les expérimentations scientifiques et technologiques menées au centre de Meuse/Haute-Marne. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-TR0-0000-20-0002.

20 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 19 - Version préliminaire des spécifications d'acceptation des colis. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-SPE-AMOA-SR0-0000-19-0040.

21 Installations nucléaires - Critères pour la conception et l'exploitation des systèmes de confinement des chantiers nucléaires et des installations nucléaires en démantèlement. International Organization for Standardization (ISO) (2018), ISO 16647.

**AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION DES DÉCHETS RADIOACTIFS**
1-7, rue Jean-Monnet
92298 Châtenay-Malabry cedex
**www.andra.fr**

© Andra • 2026 • Conception-réalisation : www.kazoar.fr • Crédit illustration : Andra