RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

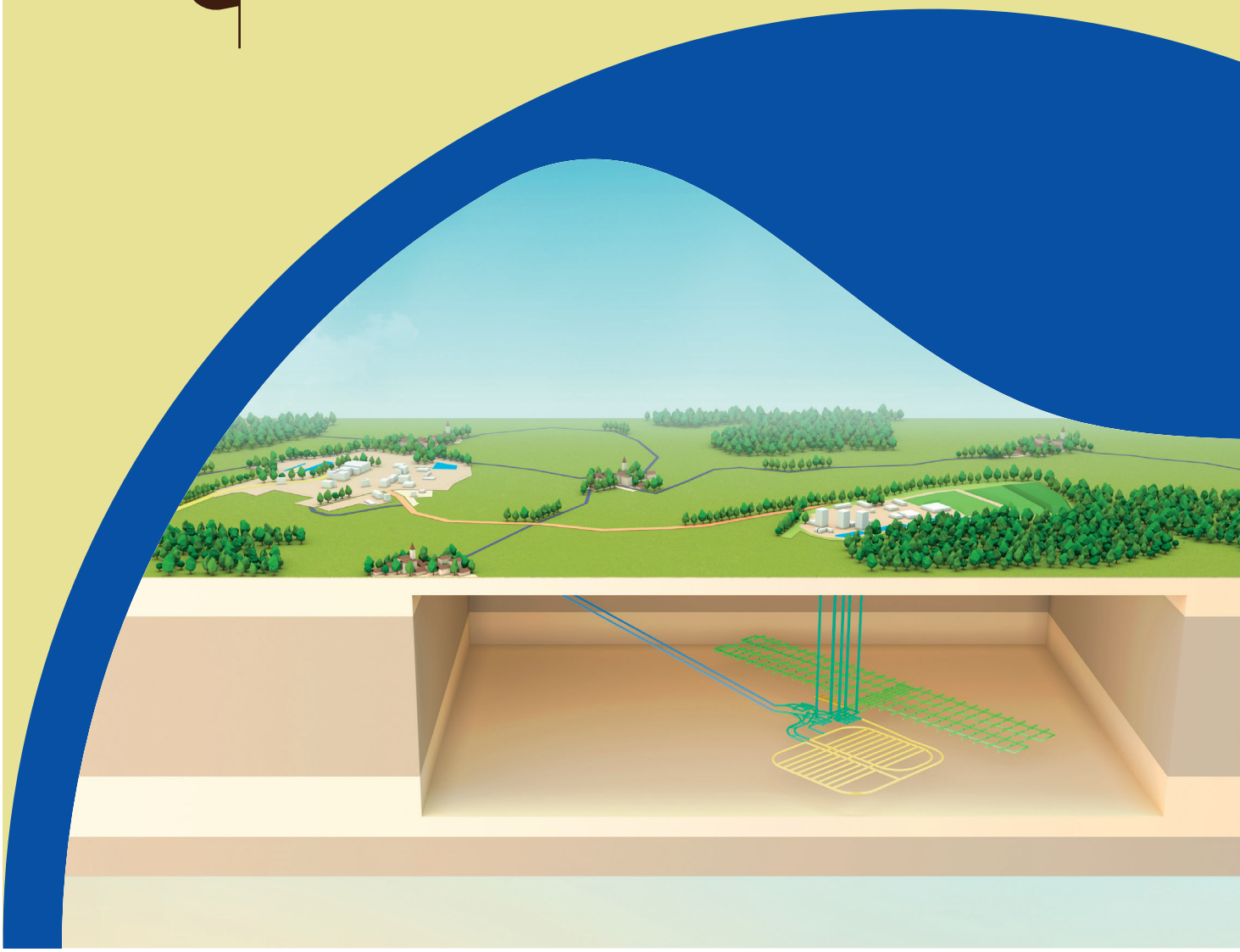
ANDRA

2026

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

PIÈCE 13

Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance



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. Introduction 7

1.1 Objet de la pièce 8

1.1.1 Exigences du code de l'environnement 8
1.1.2 Exigences de l'arrêté du 7 février 2012 10
1.1.3 Guide de l'ASN n°6 10

1.2 Contenu de la pièce 10

2. La stratégie de démantèlement et de fermeture retenue 13

2.1 Principes directeurs 14

2.2 Les principales opérations de démantèlement des installations de surface 16

2.3 Les principales opérations de fermeture de l'installation souterraine 18

2.3.1 Étapes de fermeture 18
2.3.2 Scénario prévisionnel de fermeture 19

2.4 Échéancier envisagé, durée des opérations 21

2.4.1 Scénario de fermeture proposé par l'Andra au stade de la présente demande d'autorisation de création (DAC) 21
2.4.2 Échéancier envisagé 22

3. Les principes généraux relatifs au démantèlement et à la fermeture 23

3.1 Principes d'ordre méthodologique relatifs au démantèlement, à la fermeture et à la remise en état du site et à sa surveillance ultérieure 24

3.2 Dispositions prises à la conception pour en faciliter le démantèlement et la fermeture 25

3.2.1 Dispositions facilitant le démantèlement 25
3.2.2 Dispositions facilitant la fermeture 26

3.3 Dispositions de surveillance de l'installation souterraine mises en place dès la construction initiale en vue de la protection à long terme après la fermeture 28

3.4 Dispositions prises afin de garantir la conservation de l'historique de l'installation et l'accessibilité aux données associées 29

3.5 Dispositions prises afin de maintenir les compétences et la connaissance de l'installation 29

3.5.1 Maintien des compétences 29
3.5.2 Maintien de la connaissance de l'installation 30

3.6 Estimation des quantités et modalités de gestion des déchets radioactifs issus du démantèlement 31

3.6.1 Origine des déchets radioactifs induits par le démantèlement 31
3.6.2 Type de déchets générés 32
3.6.3 Bilan des déchets de démantèlement 32
3.6.4 Tri des déchets 32

3.7 Études à réaliser et éventuels travaux de recherche et développement à mener 33

4. Le déroulement des opérations de fermeture du stockage 35

4.1 Obturation des alvéoles MA-VL et fermeture du quartier de stockage MA-VL 36

4.1.1 État de l'alvéole MA-VL en attente de la fermeture 36
4.1.2 Étapes de fermeture 37
4.1.3 Modalités de fermeture envisagées pour le quartier de stockage MA-VL 38

4.2 Quartier pilote HA et quartier de stockage HA 44

4.2.1 État de l'alvéole HA en attente de la fermeture 44
4.2.2 Étapes de fermeture du quartier pilote HA et du quartier de stockage HA 45
4.2.3 Modalités de fermeture envisagées pour la zone de stockage HA 45

4.3 Zones de soutien logistique 49

4.4 Liaisons surface-fond 49

5. Le déroulement du démantèlement des installations de surface 53

5.1 Opérations préparatoires et état initial visé au début des opérations de démantèlement 54

5.2 Définition des étapes du démantèlement 54

5.2.1 Scénario de démantèlement 54
5.2.2 Aménagement de chantier 55
5.2.3 Démantèlement des équipements 55
5.2.4 Assainissement du génie civil 56
5.2.5 Démolition des bâtiments 56

6. L'état final envisagé 57

6.1 Présentation et justification de l'état final envisagé 58

6.2 Prévisions d'aménagement 60

6.2.1 Les bâtiments 60
6.2.2 Les verses 60

6.3 Phase de surveillance 60

6.3.1 Surveillance de l'environnement 61
6.3.2 Surveillance du milieu géologique 62
6.3.3 Surveillance du comportement de l'installation pendant la phase de surveillance 63

6.4 Phase de post-surveillance 63

7. Maintien de la mémoire 65

7.1 La mémoire des installations de stockage de déchets radioactifs 66

7.1.1 Définition de la « mémoire » appliquée à une installation consacrée au stockage 66
7.1.2 Les échelles de temps à considérer pour la mémoire d'un stockage de déchets radioactifs 66

7.2 Principes de la démarche mémorielle poursuivie par l'Andra pour ses installations de stockage 67

7.3 Le panorama à l'international 67

7.4 Les objectifs associés à la mémoire du stockage en couche géologique profonde 68

7.5 Les dispositifs mémoriels 69

7.5.1 Préambule 69
7.5.2 Le dossier synthétique de mémoire et le dossier détaillé de mémoire 69

7.5.3 Les servitudes 70
7.5.4 Les dispositions mémorielles présentes sur ou à proximité de l'INB Cigéo 71
7.5.5 Interactions sociétales 71

Tableau de traçabilité des principales évolutions 73

Tables des illustrations 75

Références bibliographiques 77

1

Introduction

1.1 Objet de la pièce 8
1.2 Contenu de la pièce 10

L'installation nucléaire de base (INB) Cigéo, ses caractéristiques techniques, les principes de son fonctionnement, les opérations qui y seront réalisées et les différentes phases de sa réalisation sont décrits dans la « Pièce 2 - Nature de l'installation » (1).

1.1 Objet de la pièce

La présente pièce présente les principes et modalités proposés pour le démantèlement, la fermeture et la surveillance après-fermeture de l'installation nucléaire de base Cigéo, conformément aux exigences du code de l'environnement (cf. l'article R. 593-16) et de la réglementation relative aux installations nucléaires de base rappelées ci-après.

Cette pièce s'appuie par ailleurs sur le guide de l'Autorité de sûreté nucléaire n° 6 (2), relatif à l'arrêt définitif, au démantèlement et au déclassement des installations nucléaires de base dans les limites précisées également ci-après.

1.1.1 Exigences du code de l'environnement

Tel que précisé dans l'article L. 593-7, l'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo « *ne peut être délivrée que si, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, l'exploitant démontre que les dispositions techniques ou d'organisation prises ou envisagées aux stades de la conception, de la construction et de l'exploitation* ***ainsi que les principes généraux proposés pour le démantèlement ou, pour les installations de stockage de déchets radioactifs, pour leur entretien et leur surveillance après leur fermeture*** *sont de nature à prévenir ou à limiter de manière suffisante les risques ou inconvénients que l'installation présente pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1.* ».

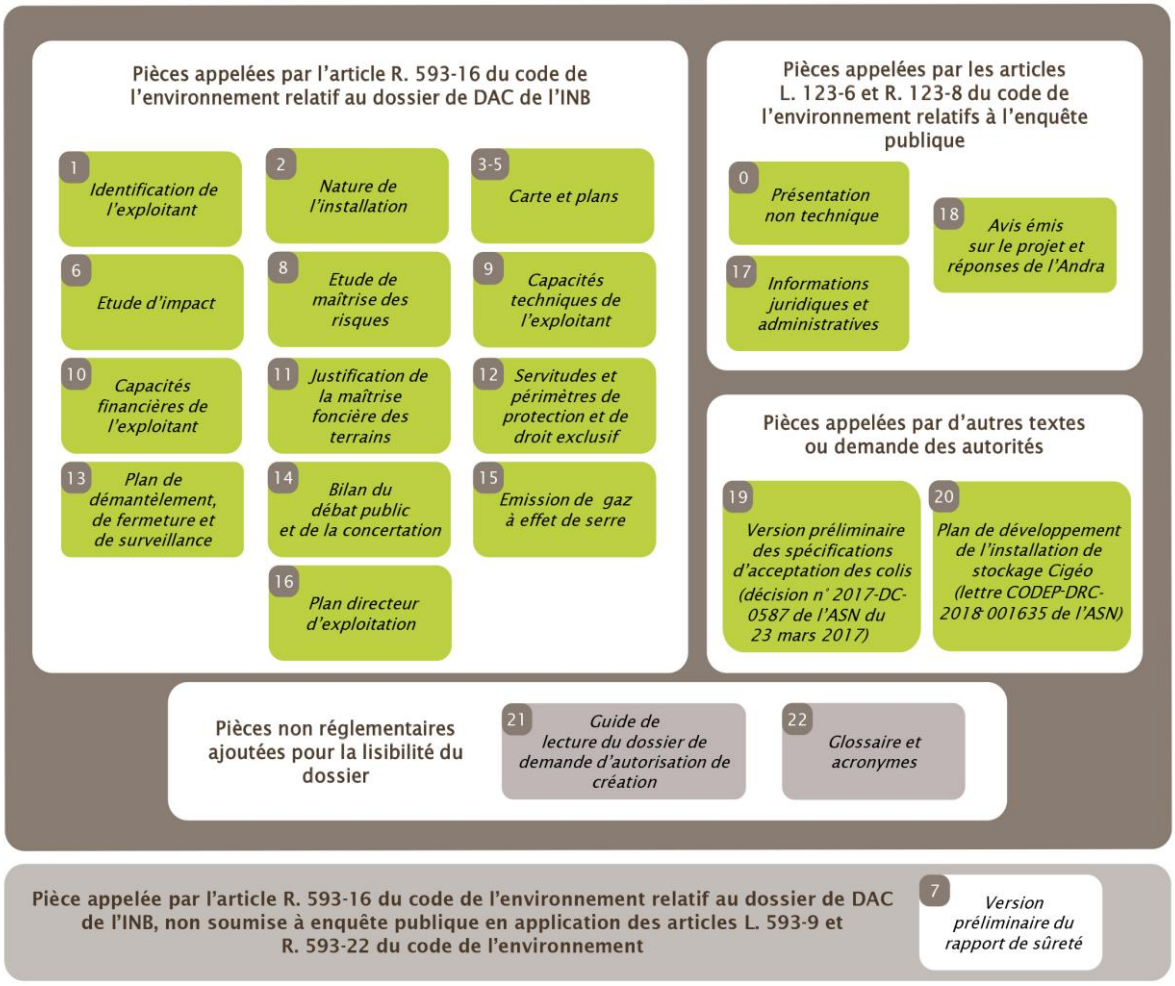
Ainsi, la présente demande d'autorisation de création (DAC) de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo est accompagnée d'un dossier comprenant plusieurs pièces définies par l'article R. 593-16 du code de l'environnement dont le plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance objet de la présente pièce dite « Pièce 13 ». La structure du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) est présentée dans la figure 1-1.

L'article R. 593-16, au 13° du I, précise que pour toute installation nucléaire de base, la demande d'autorisation de création est accompagnée d'un « *plan de démantèlement qui présente les principes d'ordre méthodologique et les étapes envisagées pour le démantèlement de l'installation ainsi que la remise en état et la surveillance ultérieure du site. Le plan justifie le délai envisagé entre l'arrêt définitif du fonctionnement de l'installation et la fin des opérations de démantèlement. Il peut renvoyer à un document établi par l'exploitant pour l'ensemble de ses installations nucléaires et joint au dossier* ».

Le paragraphe II du même article adapte le document mentionné au 13° du I aux installations nucléaires de base consacrées au stockage de déchets radioactifs. Pour cette catégorie d'INB, le plan de démantèlement est remplacé « *par un plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance présentant les principes méthodologiques, les étapes et les délais envisagés pour le démantèlement des parties de l'installation qui ne seront plus nécessaires à l'exploitation du stockage, pour la fermeture et pour la surveillance de l'installation* ».

Enfin, le plan tient compte des principes et définitions suivants, applicables aux INB consacrées au stockage de déchets radioactifs (articles L. 542-1-1 et L. 593-31 du code de l'environnement) :

- « *La fermeture d'une installation de stockage de déchets radioactifs est l'achèvement de toutes les opérations consécutives au dépôt de déchets radioactifs dans l'installation, y compris les derniers ouvrages, ou autres travaux requis pour assurer, à long terme, la maîtrise des risques et inconvénients que l'installation présente pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1* » ;
- « *1° L'arrêt définitif de fonctionnement est défini comme étant l'arrêt définitif de réception de nouveaux déchets ;*
- *2° Le démantèlement s'entend comme l'ensemble des opérations préparatoires à la fermeture de l'installation réalisées après l'arrêt définitif, ainsi que cette fermeture ;*
- *3° Les prescriptions applicables à la phase postérieure à la fermeture de l'installation, qualifiée de phase de surveillance, sont définies par le décret mentionné à l'article L. 593-28 [, c'est-à-dire celui autorisant le démantèlement de l'INB,] et par l'Autorité de sûreté nucléaire ;*
- *4° Le déclassement peut être décidé lorsque l'installation est passée en phase de surveillance.* ».



CG-TE-D-MGE-AMOA-PU0-0000-21-0021-G

Figure 1-1 *Structuration des pièces du dossier de demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo pour son dépôt*

1.1.2 Exigences de l'arrêté du 7 février 2012

Le contenu du plan de démantèlement d'une INB doit tenir compte des exigences de l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (INB) (3) et en particulier par son chapitre 3 du titre VIII :

- « *Le plan de démantèlement justifie le délai envisagé, aussi court que possible, entre l'arrêt définitif du fonctionnement de l'installation et le démantèlement de celle-ci* » (article 8.3.1, III.) ;
- « *L'état final atteint à l'issue du démantèlement doit être tel qu'il permet de prévenir les risques ou inconvénients que peut présenter le site pour les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement, compte tenu notamment des prévisions de réutilisation du site ou des bâtiments et des meilleures méthodes et techniques d'assainissement et de démantèlement disponibles dans des conditions économiques acceptables* » (article 8.3.2) ;
- « *La mise en œuvre des méthodes et techniques d'assainissement et de démantèlement prend en compte les facteurs organisationnels et humains pour déterminer les conditions de réalisation sûre et efficace des activités et prévenir les risques d'actions inappropriées* » (article 8.3.3) ;
- « *L'exploitant maintient, en prévision du démantèlement, une connaissance de l'installation ainsi que des capacités techniques et financières permettant d'effectuer, jusqu'à leur achèvement, les opérations de démantèlement en assurant la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement* » (article 8.3.4).

Ces dispositions ne font pas l'objet d'aménagements pour les INB de stockage et s'appliquent donc à l'INB Cigéo, dans le respect des principes et définitions fixés par le code de l'environnement.

1.1.3 Guide de l'ASN n°6

Le guide de l'ASN n °6 (2) précise notamment l'interprétation et les attentes de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection en matière de démantèlement, de déclassement des installations nucléaires de base et de contenu d'un plan de démantèlement.

Comme précisé en son point 1.2, ce guide n'est pas applicable aux installations de stockage de déchets radioactifs, à l'exception de son paragraphe relatif à l'arrêt de fonctionnement prolongé et à l'arrêt définitif. Toutefois, l'élaboration du présent document s'est appuyée sur certaines recommandations de ce guide.

1.2 Contenu de la pièce

Cette pièce présente, au stade de la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo, les principes méthodologiques, les étapes et les délais envisagés :

- pour le démantèlement des parties de l'installation qui ne sont plus nécessaires à au fonctionnement de l'INB ;
- pour la fermeture de l'installation souterraine ;
- pour la surveillance de l'installation après fermeture.

Cette pièce est mise à jour à différents stades du projet :

- lors de la mise en service de l'installation ;
- lors de toute modification du décret d'autorisation ;
- le cas échéant lors des réexamens périodiques pendant la phase de fonctionnement.

À la fin de la phase de fonctionnement de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo, le plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance revêt une importance particulière. À ce titre, il est obligatoirement mis à jour lors de la déclaration d'arrêt définitif prévue à l'article L. 593-26 du code de l'environnement et il constitue une pièce du dossier de demande d'autorisation de démantèlement dont le contenu est précisé à l'article R. 593-75 du code de l'environnement.

La stratégie de démantèlement ainsi que la stratégie de fermeture retenues à ce stade sont présentées au chapitre 2 de la présente pièce. Les différentes étapes de fermeture de l'installation souterraine et les principales opérations de démantèlement y sont également présentées.

Le chapitre 3 du présent document présente les principales dispositions prises dès la phase de conception initiale en vue des opérations de démantèlement et de fermeture de l'installation.

Le déroulement des opérations de fermeture du stockage est précisé, ouvrage par ouvrage de l'installation souterraine, au chapitre 4 du présent document.

La description des différentes étapes de démantèlement des installations de surface est donnée au chapitre 5 du présent document.

Le chapitre 6 du présent document présente l'état final envisagé du site. Il présente les prévisions de son utilisation ultérieure, la stratégie de surveillance pendant la phase de surveillance après fermeture.

Le chapitre 7 du présent document présente enfin les principes et objectifs retenus pour le maintien de la mémoire compte tenu de la spécificité du stockage en couche géologique profonde.

2

La stratégie de démantèlement et de fermeture retenue

2.1 Principes directeurs 14
2.2 Les principales opérations de démantèlement des installations de surface 16
2.3 Les principales opérations de fermeture de l'installation souterraine 18
2.4 Échéancier envisagé, durée des opérations 21

2.1 Principes directeurs

Le stockage est conçu pour que, une fois fermé, sa sûreté soit assurée sur de très longues échelles de temps de façon passive, c'est-à-dire sans que des actions humaines soient nécessaires. Ainsi, une fois la fermeture définitive du stockage effectuée, les générations futures sont protégées sans avoir la charge de la gestion des déchets. Le milieu géologique prend le relai des activités humaines et garantit l'atteinte des objectifs de protection à très long terme. Des fonctionnalités pourront néanmoins être maintenues après la fermeture définitive, par exemple pour la surveillance et la mémoire ; toutefois l'INB Cigéo est conçue de manière à protéger l'homme et l'environnement de façon durable, même si ces fonctionnalités et la mémoire de son existence venaient à disparaître au cours du temps.

Pour permettre et garantir de manière passive la sûreté, les ouvrages souterrains de l'INB Cigéo doivent être refermés. Cette fermeture se fait selon un processus d'autorisation spécifique (4). La couche géologique est choisie et l'installation souterraine est conçue, réalisée et exploitée avant sa fermeture de telle sorte qu'après la fermeture définitive, la sûreté est assurée de façon passive, c'est-à-dire que les personnes et l'environnement sont protégés des substances radioactives et des toxiques chimiques contenus dans les déchets radioactifs, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir.

Préalablement à la fermeture définitive, des premières opérations dites de fermeture « partielle », zone de stockage par zone de stockage, sont réalisées. En pratique, les opérations de fermeture partielle consistent au démontage des équipements d'exploitation et à la construction d'ouvrages de fermeture (remblayage des ouvrages souterrains et mise en place de scellements), qui complètent la performance de confinement apportée par l'installation souterraine (borgnitude des zones de stockage) et la couche de Callovo-Oxfordien (composant central de la protection de l'homme et l'environnement après fermeture et à long terme).

L'engagement de ces étapes de fermeture fera l'objet d'une procédure d'autorisation adaptée tenant compte des objectifs poursuivis de sûreté en exploitation et à long terme après fermeture, et de l'évolution des besoins industriels des parties prenantes.

En parallèle de la fermeture partielle des zones de stockage, des installations de surface seront démantelées lorsqu'elles ne seront plus utiles. La principale opération de démantèlement prévue avant la fermeture définitive concerne le bâtiment nucléaire de surface EP1, actuellement envisagée à l'horizon 2100, en lien avec la fin du remplissage et la fermeture du quartier de stockage MA-VL.

Afin de faciliter les opérations liées à l'arrêt définitif et au démantèlement de l'installation et d'en garantir la sûreté, des dispositions particulières sont prises en compte dès la conception initiale de l'installation, puis lors de sa construction et de son exploitation, incluant les réexamens périodiques de sûreté pendant la phase de fonctionnement.

Au cours de toute la durée de la phase de fonctionnement et, notamment, à l'occasion des réexamens périodiques, il sera vérifié sur la base de l'acquisition continue des connaissances, en particulier celle liée au retour d'expérience de l'exploitation et de la surveillance de l'installation, ainsi qu'au retour d'expérience international, que les étapes du déroulement de référence de l'exploitation de l'installation nucléaire, y compris les étapes de fermeture, sont compatibles avec les objectifs de protection et le maintien des fonctions de sûreté après fermeture et à long terme.

La fermeture définitive consiste au scellement/remblayage des galeries souterraines, au scellement et au remblayage des puits et descenderies. Les installations de surface support aux opérations de stockage sont également démantelées.

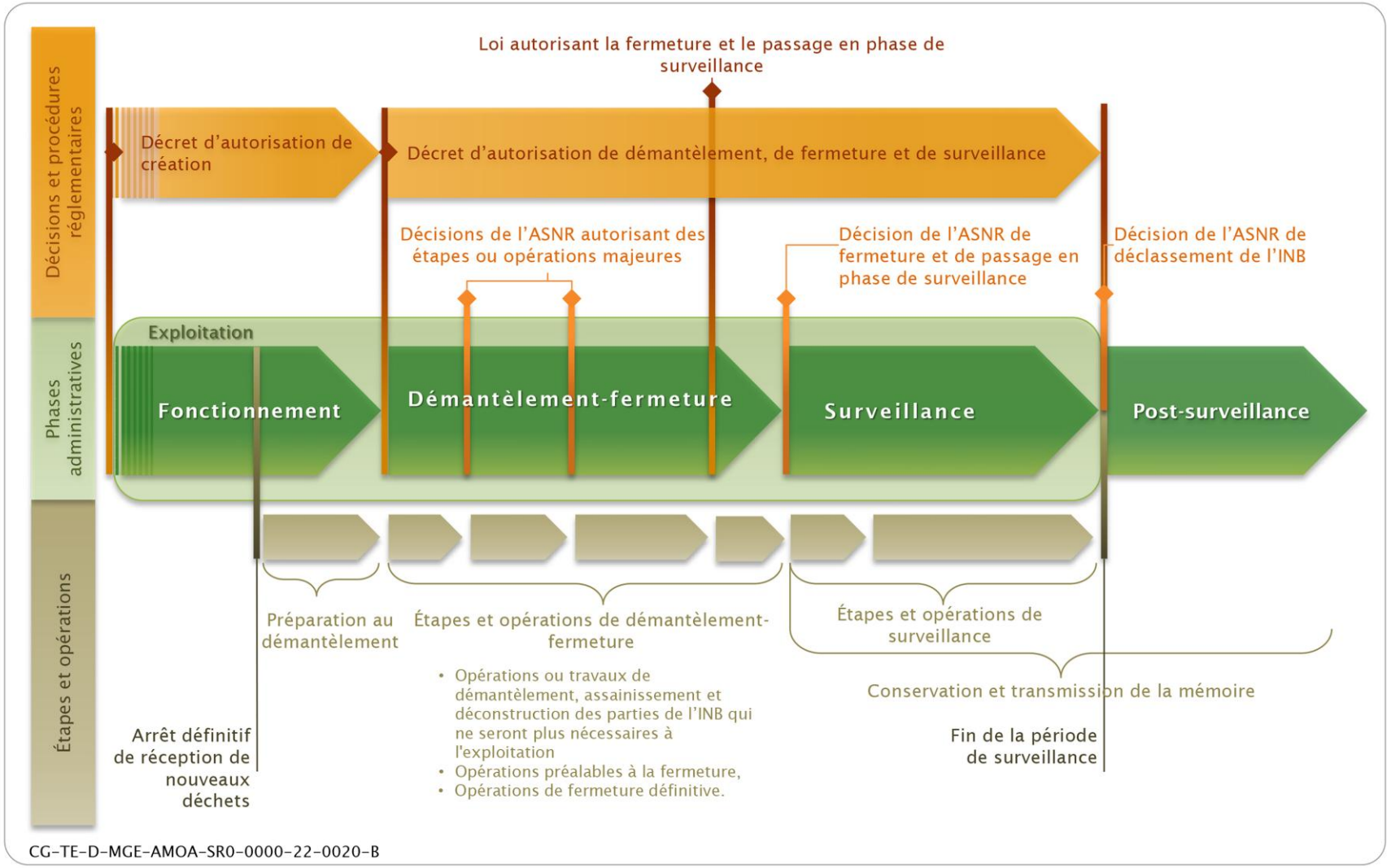


Figure 2-1 *Illustration des procédures, des étapes et des opérations de démantèlement, de fermeture et de passage en surveillance de l'INB Cigéo*

Au terme de la phase de fonctionnement, la fermeture de l'installation souterraine consiste à remblayer et à sceller les galeries, les puits et descenderies. Après fermeture définitive (sous réserve de son autorisation par une loi), l'objectif fondamental de protection des personnes et de l'environnement contre les risques liés à la dissémination des substances radioactives et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets, repose sur des dispositifs passifs, c'est-à-dire ne nécessitant pas d'intervention humaine. Des dispositions sont mises en place au début des opérations de fermeture et prises en compte dans les phases de conception, de construction et de fonctionnement, incluant les réexamens périodiques réalisés par l'exploitant.

2.2 Les principales opérations de démantèlement des installations de surface

Au terme de la phase de fonctionnement et en lien avec la fermeture des quartiers de stockage souterrains, les installations de surface de l'INB Cigéo seront mises à l'arrêt définitif et démantelées.

Pour les installations nucléaires de base, le démantèlement est défini comme l'ensemble des opérations techniques réalisées dans le cadre du décret portant le même nom et permettant d'aboutir à un état final des terrains d'emprise des installations de surface défini, qui doit permettre la sortie de ces terrains du régime des installations nucléaires de base (déclassement). La phase de démantèlement succède donc à la phase de fonctionnement des installations de surface et se termine à la délivrance d'une décision de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection du déclassement de celles concernées.

Dans le cas de l'INB Cigéo, la phase de démantèlement et de fermeture comprend des opérations de démantèlement des installations de surface devenues inutiles ; ces opérations se terminent à l'issue d'un processus visant à faire évoluer en surface le périmètre de l'INB Cigéo. L'état final envisagé est décrit au chapitre 6 de la présente pièce.

Les activités réalisées lors de la phase de démantèlement visent la caractérisation, le traitement, le conditionnement et l'évacuation de toute substance radioactive ou dangereuse du site, ainsi que la découpe et le démontage des équipements. Cette phase est suivie d'une étape de déconstruction des installations de surface, des voiries et réseaux, etc., non nécessaires aux activités de surveillance après fermeture et à la mémoire du site (cf. Chapitre 6 du présent document).

Durant la phase de fonctionnement, des opérations préparatoires permettent la préparation des opérations de démantèlement (aménagement de locaux, préparation de chantiers, formation des équipes, etc.). C'est également lors de cette étape préparatoire que sont réalisées les opérations de caractérisation de l'installation en vue de son démantèlement et de sa fermeture, afin d'établir l'état visé avant le début des opérations démantèlement (état initial) (cf. Chapitre 5.1 du présent document).

Les opérations de démantèlement à proprement dites ne démarreront qu'à partir de l'obtention du décret d'autorisation de démantèlement. Elles comprennent principalement deux types d'activités :

- des activités de démantèlement des équipements activés ou potentiellement contaminés (équipements situés dans les zones à production possible de déchets nucléaires (ZppDN[1])) et de gestion des flux de déchets induits correspondants (collecte, mesures radiologiques, tri, traitement et conditionnement pour un recyclage, un stockage *in situ*, ou une évacuation si besoin vers les exutoires appropriés) ;

[1] Les « Zones à production possible de déchets nucléaires » (ZppDN) sont les zones où sont produits des déchets contaminés, activés ou susceptibles de l'être. Les déchets produits dans ces zones doivent faire l'objet d'une gestion spécifique et renforcée, dans des filières dédiées, autorisées à cet effet.

- des activités d'assainissement des structures en béton activées ou potentiellement contaminées. Les objectifs de ces activités, pour chaque périmètre, sont l'élimination de la radioactivité restante ou de toute autre substance dangereuse restante en vue du déclassement des locaux en zone non réglementée avec un zonage à déchets conventionnels et le conditionnement des déchets produits pour un stockage si possible *in situ* ou leur évacuation vers les exutoires appropriés.

Pour ce qui concerne la déconstruction des bâtiments nucléaires de surface, cela consiste à déconstruire :

- le génie civil et le second œuvre : les cuvelages de cellule, les hublots, les trappes métalliques, les portes blindées, les escaliers, les structures de soutien, les portes d'accès, les rails... ;
- les éventuels équipements de manutention maintenus pour les besoins de démantèlement ;
- les réseaux d'alimentation : les réseaux électriques, les réseaux fluides et utilités, le cas échéant les réseaux enterrés ;
- les équipements de la ventilation nucléaire des bâtiments.

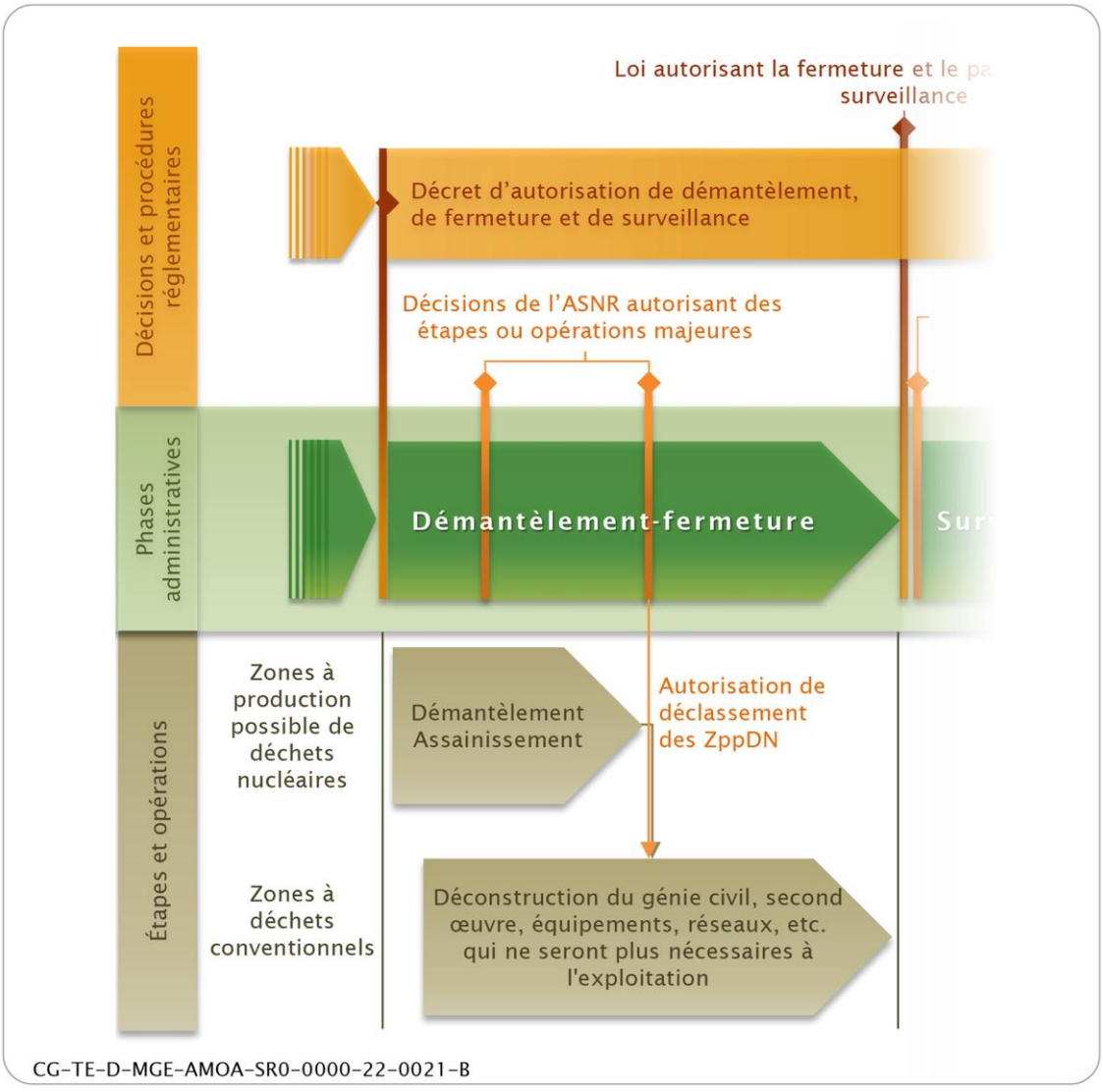


Figure 2-2 Illustration des étapes et opérations de démantèlement, d'assainissement et de déconstruction des installations de surface

2.3 Les principales opérations de fermeture de l'installation souterraine

2.3.1 Étapes de fermeture

La fermeture de l'installation souterraine est constituée d'un ensemble d'opérations à réaliser lors de différentes phases. Chacune de ces phases est définie, sous forme de niveaux sur l'échelle internationale de récupérabilité élaborée par l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation pour la coopération et le développement économique (OCDE) et est représentée dans la figure ci-dessous.

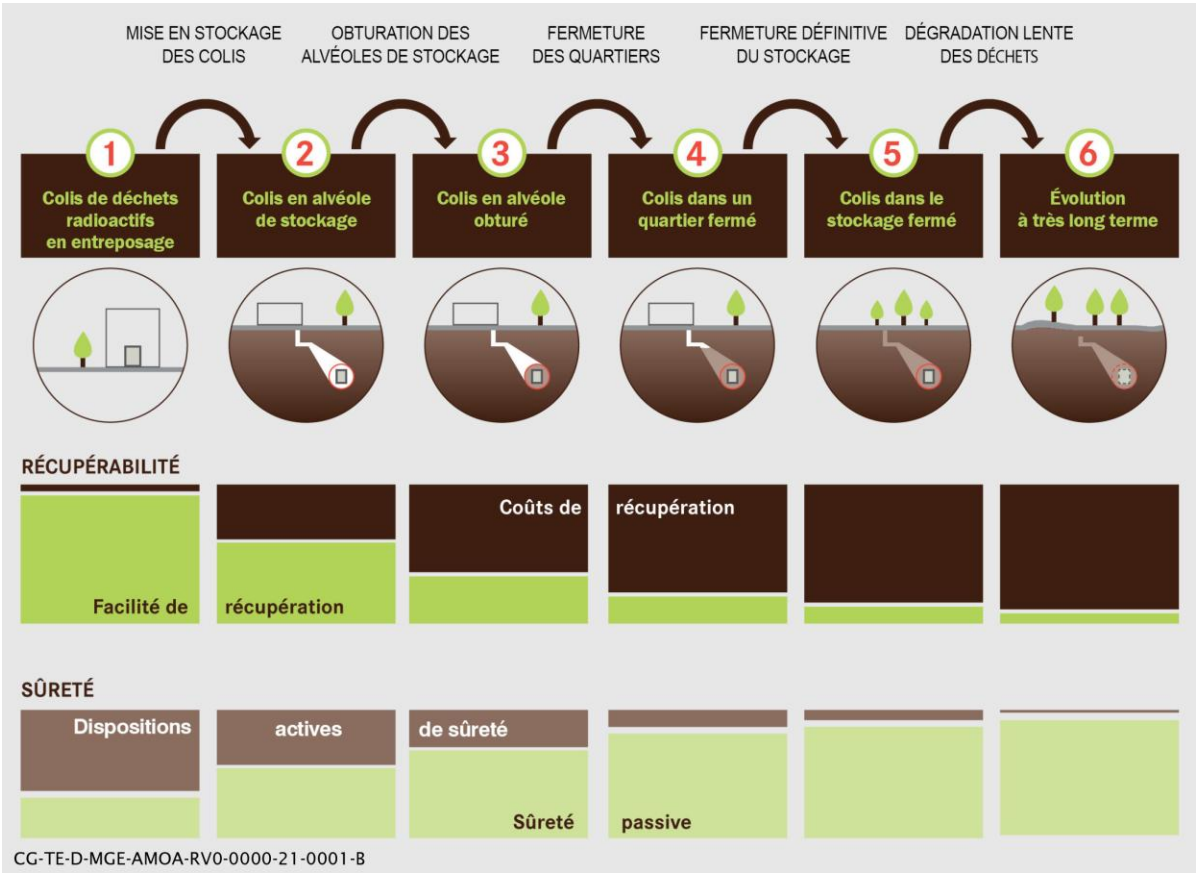


Figure 2-3 Échelle internationale montrant les niveaux de récupérabilité (5)

Il est considéré que les opérations de fermeture débutent à partir de la fin du niveau 2 de l'échelle internationale ci-dessus et la préparation des étapes du niveau 3.

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

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

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

2.3.2 Scénario prévisionnel de fermeture

Le scénario prévisionnel de fermeture proposé par l'Andra à ce stade est défini sur la base des études d'avant-projet préalablement menées. Cette proposition est construite sur la base de l'analyse de trois types d'échéances (scénarios) pour l'obturation des alvéoles de stockage :

- « au fil de l'eau » (au plus tôt après le remplissage ou par tranches de 10 ans) pendant la phase de fonctionnement ;
- à la fin du remplissage de chaque quartier pendant la phase de fonctionnement ;
- à l'issue du fonctionnement, pendant la phase de démantèlement et de fermeture.

Chaque scénario de fermeture a été analysé au regard des critères suivants :

- la sécurité/sûreté en exploitation qui appelle principalement la limitation des risques de coactivité entre les activités nucléaires (exploitation et mise en stockage des colis) et les travaux de réalisation des ouvrages de fermeture ;
- la préservation d'une durée de surveillance importante des alvéoles et des quartiers de stockage après leur construction (plusieurs dizaines d'années) ;
- la mise en œuvre d'une démarche progressive permettant d'acquérir de l'expérience sur les opérations de fermeture ;
- la limitation de la perturbation générée par les opérations de fermeture sur le service industriel (gestion des flux de mise en stockage). En effet, les opérations de fermeture d'alvéoles et de quartiers peuvent constituer des opérations lourdes qui ne sont pas toujours compatibles avec la poursuite des opérations de mise en stockage en parallèle dans d'autres parties de l'installation souterraine ;
- l'optimisation technico-économique, en particulier la recherche d'une efficacité des travaux de fermeture en évitant leur fractionnement.

Les scénarios correspondant à l'obturation des alvéoles au fil de l'eau présentent des inconvénients pour la sûreté en exploitation (introduction de risques liés aux travaux et à la coactivité), induisent une perturbation du service industriel de mise en stockage, conduisent à réduire la durée de la surveillance et rendent précocement plus complexe la récupérabilité.

D'un autre côté, le scénario correspondant à une obturation de la totalité des alvéoles à la fin du fonctionnement ne permet pas d'acquérir un retour d'expérience des opérations d'obturation et de la surveillance des alvéoles et quartiers obturés. Dans une optique de développement incrémental et d'acquisition progressive de connaissance et d'expérience, il a été jugé préférable de pouvoir disposer d'un retour d'expérience des opérations de fermeture d'ampleur et de complexité croissante avant d'engager les étapes finales de fermeture du quartier de stockage HA et des zones de soutien logistique.

Après avoir analysé les différents critères, le scénario prévisionnel de fermeture proposé par l'Andra à ce stade comprend l'obturation des alvéoles de stockage à la fin du remplissage de chaque quartier.

---

[2] Les zones de soutien logistique (ZSL) constituent l'interface entre les liaisons surface-fond et l'installation souterraine.

[3] Les liaisons surface-fond (LSF) permettent de relier les installations de surface à l'installation souterraine. Celles-ci sont constituées des descenderies, des puits verticaux et d'éventuels forages d'utilité.

Il est jalonné par trois grandes étapes de fermeture, organisées par taille et complexité croissantes : fermeture du quartier pilote HA, fermeture du quartier de stockage MA-VL et fermeture du quartier de stockage HA. Les échéances envisagées pour ces étapes de fermeture sont présentées dans le chapitre 2.4 du présent document. L'engagement de chaque étape de fermeture ne se fera que sous réserve de l'obtention d'une décision favorable lors du processus de gouvernance et tenant compte des clauses nécessaires au regard notamment de la sûreté nucléaire[4] ou des besoins industriels.

Le choix des étapes de fermeture à ce stade vise la construction des premiers scellements à l'horizon 2100 pour la fermeture du quartier de stockage MA-VL. Cette échéance permet d'intégrer un retour d'expérience suffisant du comportement des démonstrateurs d'ouvrages de fermeture inactifs mis en place dès la phase industrielle pilote (obturation d'un alvéole HA, scellement de descenderie...). L'évolution phénoménologique dans le temps de ces ouvrages étant nécessairement lente, l'acquisition des données sur leur comportement nécessite un programme de mesures couvrant *a priori* plusieurs dizaines d'années. Les opérations d'obturation et de fermeture peuvent ainsi être améliorées en vue d'une efficacité et d'une performance croissantes. Chaque quartier est fermé en une même temporalité regroupant le démontage des équipements, la construction des ouvrages d'obturation de tous les alvéoles et le remblayage des galeries d'accès. Dans le scénario de fermeture proposé à ce stade, la fermeture définitive interviendra pendant la phase de démantèlement et de fermeture, vers 2150.

La phase industrielle pilote, en particulier après la mise en service, permettra d'acquérir du retour d'expérience sur le fonctionnement industriel du stockage avec de vrais colis de déchets radioactifs et d'engager des essais nécessaires aux futures décisions de fermeture. Elle permettra de s'assurer que le comportement du stockage et son exploitation sont conformes aux objectifs de sûreté, y compris après-fermeture. Elle constituera également la phase de test du processus de gouvernance de l'INB Cigéo. Au vu de ces objectifs, les dates d'entrée et de sortie de la phase industrielle pilote ainsi que le contenu exact de la phase industrielle pilote ne doivent pas être considérés comme des données figées (cf. « Pièce 16 - Plan directeur de l'exploitation » (4)).

Le scénario prévisionnel de fermeture proposé postule la poursuite du projet après la phase industrielle pilote. Toutefois, dans l'hypothèse où le parlement en déciderait autrement, ce scénario sera adapté et mis en œuvre en tenant compte de la configuration de l'INB Cigéo à l'issue de la phase industrielle pilote.

Le scénario prévisionnel de fermeture proposé par l'Andra constitue à ce stade, sur la base des études menées en avant-projet, un optimum du point de vue industriel. Celui-ci n'est cependant pas figé. Le développement progressif de l'exploitation (cf. L'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) (6), c'est le PNGMDR qui « *précisera les conditions de mise en œuvre de la réversibilité du stockage, en particulier en matière de récupérabilité des colis, les jalons décisionnels du projet Cigéo ainsi que la gouvernance à mettre en œuvre afin de pouvoir réinterroger les choix effectués*. ».

Quel que soit le scénario prévisionnel de fermeture, l'INB Cigéo est conçue pour que les opérations d'obturation puissent être décidées et engagées sur toute sa phase de fonctionnement. La proposition de scénario est donc flexible. Elle sera nécessairement adaptée par les générations à venir pour répondre aux contraintes et aux enjeux qui intégreront conjointement les évolutions en matière d'objectifs de protection des intérêts, les optimisations technico-économiques en fonction du retour d'expérience de l'exploitation de l'INB Cigéo et des pratiques au niveau international, et les besoins industriels qui apparaîtront naturellement.

[4] Dans le cadre de la protection des intérêts

2.4 Échéancier envisagé, durée des opérations

2.4.1 Scénario de fermeture proposé par l'Andra au stade de la présente demande d'autorisation de création (DAC)

Le schéma de fermeture, proposé par l'Andra à ce stade, est d'obturer les alvéoles et de fermer les quartiers de stockage au même horizon temporel. Ces opérations pourraient être menées à différents stades du déploiement du stockage, pendant la phase de fonctionnement ou de démantèlement. La proposition de l'Andra consiste à fermer (cf. Figure 2-4) :

- le quartier pilote HA à l'horizon 2080, après environ 30 ans de fonctionnement et de surveillance ;
- le quartier de stockage MA-VL à l'horizon 2100 à l'issue de son remplissage, après environ 50 ans de fonctionnement et environ 20 ans après la fermeture du quartier pilote HA ;
- le quartier de stockage HA à l'horizon 2150 à l'issue de son remplissage, après jusqu'à environ 70 ans de fonctionnement et environ 50 ans après la fermeture du quartier de stockage MA-VL.

La fermeture définitive est réalisée après fermeture de l'ensemble des quartiers de stockage (à l'horizon 2150) à condition que la loi l'autorisant soit votée.

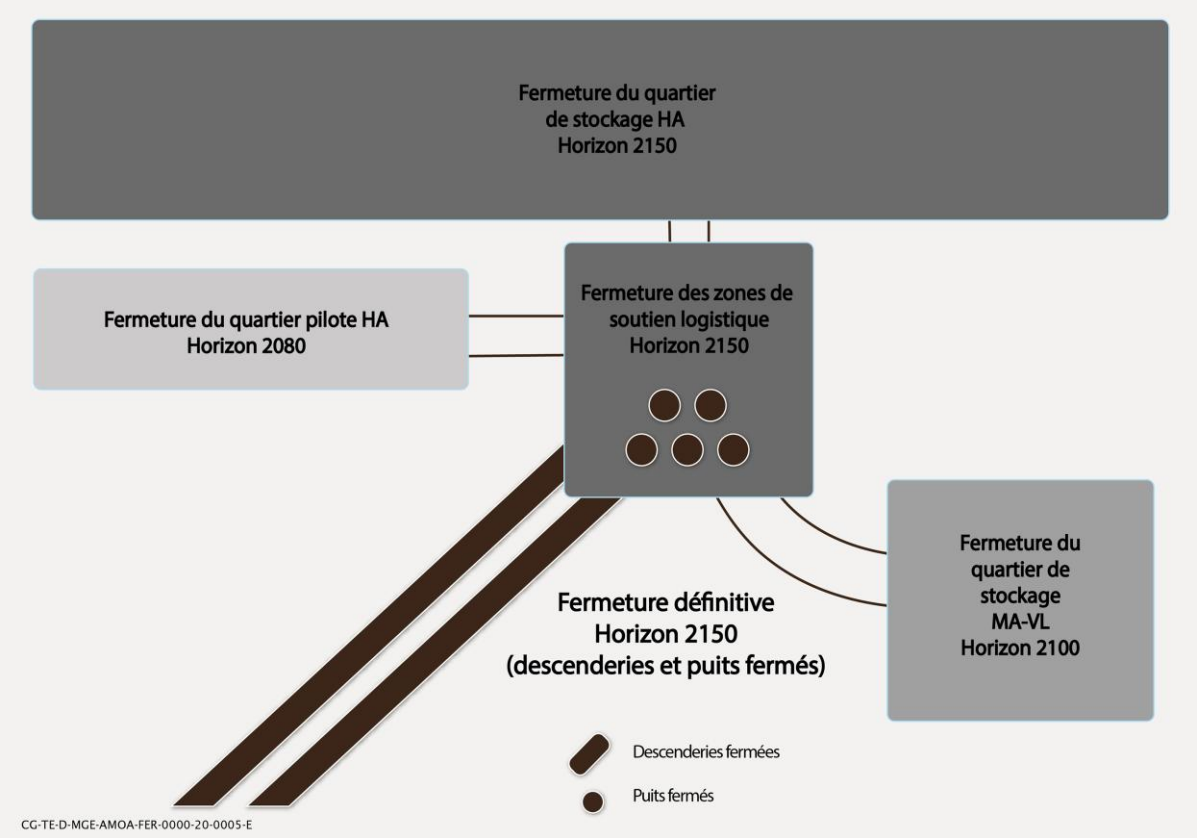


Figure 2-4 *Schéma de fermeture proposé par l'Andra au stade de la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo*

2.4.2 Échéancier envisagé

Selon le schéma de fermeture proposé par l'Andra à ce stade (cf. Chapitre 2.4.1 du présent document et figure 2-4), le planning directeur envisagé pour les opérations de démantèlement et de fermeture est le suivant :

- la fermeture du quartier pilote HA est envisagée à l'horizon 2080 ;
- la fin de l'exploitation du bâtiment nucléaire de surface « EP1 » correspond à la fin des opérations de remplissage du quartier de stockage MA-VL et intervient à l'horizon 2100. Le démantèlement des installations/ouvrages liés à son exploitation est alors engagé conformément aux recommandations du guide n° 6 de l'ASN (2). La déconstruction d'EP1 est réalisée en parallèle à la déconstruction du bâtiment nucléaire de surface EP2 (cf. « Pièce 2 - Nature de l'installation » (1)), à l'horizon 2150 ;
- le démantèlement des ouvrages liés aux travaux de creusement est engagé dès la fin du creusement du dernier sous-quartier du quartier de stockage HA, à l'horizon 2130 ;
- la fermeture du quartier de stockage HA est réalisée à l'issue de son remplissage, à l'horizon 2150 ;
- à l'horizon 2150 :
  - ✓ le démantèlement des ouvrages et équipements liés à l'exploitation de l'INB et jugés non nécessaires pour les étapes de démantèlement ultérieures est engagé, conformément aux recommandations du guide n° 6 de l'ASN. À titre illustratif les ouvrages de maintenance sont démantelés ;
  - ✓ à la suite son démantèlement, le bâtiment nucléaire de surface EP2 est déconstruit. Les ouvrages liés à son exploitation (postes de garde, clôtures, sous-station électrique associée) sont également déconstruits ;
  - ✓ à la fin de la fermeture du dernier sous-quartier du quartier de stockage HA, la déconstruction des ouvrages liés à la fermeture des alvéoles est engagée ;
  - ✓ la fin de la fermeture des ouvrages souterrains jusqu'aux liaisons surface-fond, les ouvrages de surface associés aux opérations de fermeture (têtes de descenderies et émergences de puits notamment) sont démantelés ;
  - ✓ le démantèlement des derniers ouvrages (quelques ouvrages utilités) est ensuite engagé.

3

Les principes généraux relatifs au démantèlement et à la fermeture

3.1 Principes d'ordre méthodologique relatifs au démantèlement, à la fermeture et à la remise en état du site et à sa surveillance ultérieure 24

3.2 Dispositions prises à la conception pour en faciliter le démantèlement et la fermeture 25

3.3 Dispositions de surveillance de l'installation souterraine mises en place dès la construction initiale en vue de la protection à long terme après la fermeture 28

3.4 Dispositions prises afin de garantir la conservation de l'historique de l'installation et l'accessibilité aux données associées 29

3.5 Dispositions prises afin de maintenir les compétences et la connaissance de l'installation 29

3.6 Estimation des quantités et modalités de gestion des déchets radioactifs issus du démantèlement 31

3.7 Études à réaliser et éventuels travaux de recherche et développement à mener 33

3.1 Principes d'ordre méthodologique relatifs au démantèlement, à la fermeture et à la remise en état du site et à sa surveillance ultérieure

Dans l'objectif d'assurer la protection durable de l'Homme et de l'environnement, l'installation souterraine de l'INB Cigéo est conçue pour être fermée.

Lors de la phase de conception initiale, afin d'anticiper les mesures pouvant être prises dans le but de faciliter le démantèlement et la fermeture, plusieurs scénarios sont analysés selon plusieurs critères (critères techniques, sûreté et sécurité, critères économiques, retours d'expérience sur des installations similaires, etc.).

À ce stade, un scénario de démantèlement et de fermeture est proposé par l'Andra. Ses différentes étapes sont décrites aux chapitres 2, 4 et 5 du présent document. Ce scénario constitue, sur la base des études menées en avant-projet, un optimum du point de vue industriel et pourra évoluer au cours des différentes phases de vie de l'installation en lien avec son développement progressif ainsi que des grands jalons décisionnels [5]. Par exemple, en vue de la mise en service du quartier de stockage à l'horizon de 2080, viendront des décisions opérationnelles sur le stockage des déchets HA1/HA2. En effet, dans une cinquantaine d'années, la chaleur produite par certains des colis de déchets exothermiques HA1/HA2 aura décru suffisamment pour que débute leur stockage. Pour cette perspective temporelle éloignée, la principale question sera alors de confirmer si leur mise en sécurité définitive dans les ouvrages souterrains de l'INB Cigéo est toujours la meilleure filière de gestion ou si des filières alternatives sont apparues. À cet horizon temporel, une autre décision importante sera également soumise à la gouvernance : est-il maintenant pertinent de fermer le quartier pilote HA, surveillé depuis plusieurs décennies, pour acquérir une expérience industrielle de ce type d'opérations et pour tester le dispositif de surveillance d'un quartier fermé et son comportement ou faut-il reporter à plus tard cette décision ? À l'issue du stockage de déchets MA-VL, c'est-à-dire à l'horizon temporel de la fin du XXIe siècle, la fermeture du quartier de stockage MA-VL pourrait éventuellement être engagée, toujours dans une logique de progressivité. Techniquement, cette fermeture (qui est la seconde opération de ce type après la fermeture du quartier pilote HA, plus petit) peut aussi être reportée, les dispositions notamment en matière d'architecture (organisation de quartiers de stockage indépendants par exemple) prises dès la conception offrant de la flexibilité aux futures générations. Elles pourront choisir d'avancer vers un fonctionnement passif du stockage ou de reporter cette fermeture pour préserver la facilité d'un éventuel retrait de colis de déchets.

Ultérieurement, vers 2150, se posera la question fondamentale de la fermeture définitive du stockage. Les informations acquises dans les démonstrateurs d'ouvrages de fermeture (scellements) engagés dès la phase industrielle pilote, pourront être mises à profit. La fermeture définitive ne pourra être décidée que par le parlement (cf. Article L. 542-10-1, code de l'environnement). Une fois la loi votée, une demande d'autorisation de fermeture définitive sera transmise à l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection, conformément à l'article R. 593-75 du code de l'environnement. Les travaux de fermeture définitive de l'installation souterraine sont entrepris. Pendant cette phase, l'installation souterraine sera complètement remblayée et ses accès depuis la surface seront scellés et comblés.

[5] Lors de chaque phase du projet, le retour d'expérience du fonctionnement de l'INB Cigéo, les informations techniques acquises dans les ouvrages d'essais, les résultats de la surveillance, les développements technologiques et scientifiques et les évolutions de politique nationale nourrissent les décisions à venir. Inversement, le retour d'expérience acquis peut aussi modifier les filières de gestion des déchets radioactifs. L'autorisation de mettre en œuvre ou non une modification, le report d'une décision ou le retour en arrière est possible à chaque jalon et pendant toute la durée de la phase de fonctionnement, conformément aux principes de la réversibilité.

Une surveillance sera mise en place après la fermeture définitive de l'installation souterraine (cf. Chapitre 6.3 du présent document). Les installations nucléaires de surface ne participant pas à cette surveillance seront démantelées. Après la fermeture définitive, la gouvernance pourrait perdurer afin de poursuivre l'association de la société à la surveillance du site d'implantation et du stockage.

3.2 Dispositions prises à la conception pour en faciliter le démantèlement et la fermeture

3.2.1 Dispositions facilitant le démantèlement

Afin de faciliter les opérations liées à l'arrêt définitif et au démantèlement de l'installation et d'en garantir la sûreté, des dispositions particulières sont prises en compte dès la conception initiale de l'installation, puis lors de sa construction et de son exploitation, incluant les réexamens périodiques de sûreté pendant la phase de fonctionnement.

Les principales dispositions sont les suivantes :

- **limitation de la quantité de déchets radioactifs induits par l'exploitation de l'installation**

  Le zonage déchets de l'installation est optimisé : le nombre de locaux générant des déchets nucléaires est limité et leurs dimensions adaptées au strict besoin. Le nombre d'équipements installés dans ces locaux est également limité autant que possible. Le zonage déchets est tenu à jour durant toute la phase de fonctionnement et fait l'objet de bilans périodiques afin d'en assurer la maîtrise et le suivi pour limiter au maximum les déchets nucléaires produits.

  Par ailleurs, les moyens d'évacuation des déchets générés dans ces locaux sont aisés et rationnels en termes de collecte et de transfert de ces déchets vers la zone centralisée de traitement/conditionnement du bâtiment nucléaire de surface EP1 ;

- **protection contre la contamination**

  Les colis primaires de déchets radioactifs (cf. « Pièce 22 - Glossaire et acronymes » (7)) réceptionnés sur l'INB Cigéo constituent la première barrière de confinement de la radioactivité. Ils ont un niveau de contamination surfacique labile faible tel que prescrit par les spécifications d'acceptation auxquelles ils sont rattachés (8). Par ailleurs, le niveau de contamination surfacique labile des colis primaires est contrôlé dès leur réception et avant transfert des colis de stockage vers les quartiers de stockage.

  La conception de l'installation vise à limiter au maximum les risques de dissémination des substances radioactives, en limitant les risques pendant la manutention des colis de déchets (par exemple dimensionnement des équipements de manutention des colis de déchets radioactifs pour éviter la chute et limitation au maximum des hauteurs de manutention des colis).

  En complément, une seconde barrière de confinement éventuellement complétée par un système de confinement dynamique est mise en place. Il peut s'agir d'une barrière de confinement assurée par le génie civil d'un local complété par la ventilation nucléaire.

  La ventilation nucléaire assure une fonction de confinement dynamique *via* le maintien de cascades de dépression depuis les locaux les moins à risques vers les locaux les plus à risques. Cette ventilation permet également l'assainissement des locaux par la mise en place de taux de renouvellement d'air et l'épuration en collectant les aérosols et en les filtrant avant rejet.

  Par ailleurs, en fonction du zonage « déchets », des revêtements décontaminables sont mis en place sur les sols et les parois. De la peinture décontaminable est mise en place sur les équipements ;

- **protections contre l'activation**

  Des dispositions et/ou des protections sont prises/placées pour limiter l'irradiation des matériaux. L'irradiation des matériaux a pour effet de diminuer la durée de vie de certains équipements qui y sont sensibles. Elle peut conduire également à une activation au sein même des matériaux qui, de ce fait, deviendraient, lors du démantèlement, des déchets de faible ou très faible activité.

  Les murs en béton et les parois en acier qui ont une fonction de protection radiologique contre les rayonnements ionisants peuvent être plus ou moins activés, en fonction de l'intensité des rayonnements et de la durée d'exposition au cours de l'exploitation. Les mesures suivantes peuvent être prises pour limiter les conséquences de l'irradiation des matériaux des équipements ou des structures :

  - ✓ protéger les équipements particulièrement exposés par des parois, qui suivant les cas et en fonction de diverses contraintes (accès, épaisseur, type de rayonnements γ ou neutrons) pourront être en béton, en acier ou en polyéthylène ;
  - ✓ prévoir des surépaisseurs faciles à enlever ou à araser sur les structures de génie civil qui pourraient être activées.

  Compte tenu du faible flux de neutrons émis par les colis de déchets HA et MA-VL selon les évaluations à ce stade des connaissances, le phénomène d'activation des structures devrait être marginal ;

- **gestion des déchets induits**

  Une zone relative à la gestion des déchets induits et des effluents liquides est retenue au sein du bâtiment nucléaire de surface EP1. La ventilation de cette zone est séparée des autres réseaux de ventilation de manière à permettre, lors de l'étape de démantèlement, un réajustement des réseaux en fonction des conditions du démantèlement. Cette zone est notamment utilisée (en partie) pour assurer des opérations de traitement et de conditionnement des déchets issus du démantèlement. Elle restera en exploitation pendant le démantèlement des locaux du process nucléaire ;

- **protection contre la pollution des sols**

  Des dispositions sont prises dès la conception pour éviter le risque de pollution des sols et des terres environnantes. Compte tenu des opérations réalisées dans les bâtiments nucléaires de surface (principalement des opérations de transfert de colis de déchets radioactifs et de mise en conteneur ou en panier), la présence d'effluents liquides en exploitation est très faible. En plus des mesures prises pour éviter un déversement accidentel d'effluents liquides dans les bâtiments, les fondations et les parois des bâtiments en contact avec les sols et les terres sont conçues pour être étanches vis-à-vis de l'eau.

3.2.2 Dispositions facilitant la fermeture

Afin de faciliter les opérations liées à la fermeture de l'installation souterraine et d'en garantir la sûreté, des dispositions particulières sont prises en compte dès la conception initiale. Les principales dispositions sont les suivantes :

- **dispositions facilitant l'obturation des alvéoles MA-VL**

  Une longueur de l'ordre de cinq mètres est prévue en entrée de la partie utile de l'alvéole MA-VL pour mettre en place des blocs de radioprotection au fur et à mesure du stockage et à la fin du remplissage de l'alvéole. Ces blocs de radioprotection assurent la radioprotection pour les intervenants lors du clavage des blocs de radioprotection et du démontage de la porte de radioprotection.

  Dans la cellule de manutention, il est prévu, en cas de présence de contamination, de pouvoir décontaminer les surfaces du génie civil et de « vinyler » les équipements avant leur transfert vers les installations en surface pour les décontaminer.

  Les équipements de la cellule de manutention de l'alvéole MA-VL et dans la zone d'accostage sont conçus (dimensions et masse) pour pouvoir être descendus par un ascenseur *via* un puits lors de leur installation. Cela permet également leur transfert vers la surface par la descenderie de service, lors du démantèlement, sans nécessité de découpe au fond. Les équipements de la cellule de manutention sont aussi conçus pour pouvoir être sortis par l'une des deux ouvertures du voile

d'accostage disponibles au droit du sas et de la façade d'accostage après leur démontage. La fixation de ces équipements sur le génie civil de l'alvéole au moyen de platines et contre-platines facilite leur remplacement lors des opérations de jouvence ou de maintenance ainsi que leur démontage lors du démantèlement. Le conditionnement des équipements démontés en vue de leur transfert vers la surface peut s'effectuer dans une zone située dans la galerie d'accès de l'alvéole ;

- **dispositions prises en vue de la fermeture des alvéoles MA-VL**

  Une fois démantelées, d'une part les cellules de manutention et galeries d'accès des alvéoles de stockage MA-VL et d'autre part les jonctions de retour d'air à l'extrémité opposée de la partie utile de l'alvéole dévolue au stockage des colis de déchets radioactifs sont fermées. Ces linéaires font l'objet d'un remblayage. Les longueurs prévues pour la galerie d'accès et la cellule de manutention de l'alvéole d'une part et pour sa jonction de retour d'air d'autre part sont suffisantes pour permettre la mise en œuvre d'un scellement de fermeture s'il en était décidé ainsi le moment venu ;

- **dispositions facilitant la fermeture des galeries et des liaisons surface-fond**

  Lors des opérations de fermeture du stockage, des ouvrages sont construits pour limiter à long terme les déformations mécaniques des argilites et limiter la circulation d'eau. Ces fonctions sont confiées à différents types d'ouvrages. La limitation des déformations mécaniques repose essentiellement sur un remblayage de l'ensemble des galeries. La limitation des écoulements d'eau repose sur des scellements de faible perméabilité. Des réservations linéaires sont prévues à des emplacements spécifiques (galeries horizontales, liaisons surface-fond) permettant de favoriser leur efficacité et leur redondance ;

- **démonstrateurs (cf. « Pièce 20 - Plan de développement de l'installation de stockage Cigéo » (9))**

  La construction, durant la phase de fonctionnement, de démonstrateurs de fermeture permet de disposer, au moment de la fermeture définitive de l'installation, d'un retour d'expérience suffisant pour la mise en œuvre de la fermeture. Les démonstrateurs prévus sont :

  - ✓ un démonstrateur de scellement en descenderie ;
  - ✓ un démonstrateur de scellement de galerie situé dans la zone de soutien logistique dédiée à la réalisation (ZSL travaux). Cette zone doit permettre de réaliser, outre le scellement de galerie, les autres éléments de démonstration associés aux ouvrages de fermeture : remblais, coupure hydraulique ;
  - ✓ un démonstrateur de fermeture d'alvéole de stockage HA situé à l'ouest de la recoupe du quartier pilote HA.

- **dispositions prises vis-à-vis des déblais et leurs mises en verses**

  Ce sont les déblais issus de l'excavation du Callovo-Oxfordien qui fourniront les volumes de remblayage de l'installation souterraine. Au fur et à mesure de leur production par excavation, ils sont conservés en surface, sur une emprise dédiée de la zone puits qui permet leur dépôt sous forme de verses. Ces déblais dénommés « verses vives » représentent environ 40 % du volume total d'environ 11 millions de m^3 extraits et font l'objet de mesures spécifiques de tri, de conservation sous couverture imperméabilisée et végétalisée, puis de traitement dédié, en vue de leur réutilisation lors de l'étape de fermeture. Pour les verses complémentaires, dites « verses mortes », une solution de valorisation est privilégiée.

  Une fois les verses vives réutilisées pour refermer les ouvrages souterrains, les plateformes font l'objet de travaux écologiques pour reconstituer un milieu naturel s'intégrant dans l'environnement.

  Des dispositifs de surveillance spécifiques sont déployés pour vérifier la conservation des performances des argilites à l'issue de leur entreposage en vue de leur remise en place pour remblayer les liaisons surface-fond en particulier au niveau de la couche du Callovo-Oxfordien ;

- **dispositions facilitant le cheminement des matériaux**

  Les matériaux nécessaires à la fermeture de l'installation souterraine sont transportés principalement depuis la surface par la descenderie service (pour la fermeture des galeries travaux du quartier de stockage MA-VL, les matériaux passent par le puits matériels matériaux travaux (MMT)). Des stocks tampons sont réalisés au plus proche de la mise en œuvre.

Quant aux matériaux issus des verses, leur transport entre un bâtiment dédié au traitement préalable en surface et le pied de la descenderie service est assuré au moyen d'un convoyeur tubulaire afin de limiter au maximum le nombre de camions en descenderie et l'émission de poussières ;

- **dispositions facilitant la gestion de la coactivité des flux fermeture/flux exploitation**

  Le cheminement des flux matériaux et matériels de fermeture utilisant la descenderie de service impose un passage par le carrousel pour atteindre les galeries de liaison, et un passage par ce carrousel et la zone de soutien logistique exploitation pour atteindre les galeries de retour d'air du quartier de stockage MA-VL. Au niveau du carrousel, le transit des flux de fermeture peut créer des perturbations plus ou moins importantes sur l'exploitation. Celles-ci dépendent du temps de transit des flux et des créneaux disponibles dans l'utilisation nécessaire à l'exploitation classique (mise en stockage de colis, maintenance, etc.) mais également de la propreté des installations après le passage des moyens de transport des matériaux et matériels de fermeture. Pendant les horaires de fonctionnement du process nucléaire, aucun passage des flux de fermeture par le carrousel ne sera effectué. Les matériaux et matériels transiteront par le carrousel en dehors de ces horaires.

  Pour la fermeture des galeries travaux du quartier de stockage MA-VL, les matériaux passent par le puits matériels matériaux travaux (MMT), et le personnel par le puits ventilation personnel air frais travaux (VFT). Les sas exploitation/travaux restent en place dans les galeries de liaison et les galeries de retour d'air. Les opérations se font dans des zones distinctes.

  Selon le scénario de fermeture proposé à ce stade, aucun flux (matériels, matériaux, personnel) nécessaires à l'exploitation nucléaire (mise en stockage des colis) n'est présent au moment de la fermeture du quartier de stockage HA. La coactivité entre les opérations de fermeture et de mise en stockage de colis de déchets HA n'existe pas.

  L'ensemble des étapes de fermeture des liaisons surface-fond commence à la fin de la phase de fonctionnement et en parallèle de la fermeture des zones de soutien logistique. De ce fait, il n'y a pas de contrainte de flux liée à la coactivité avec les activités d'exploitation.

3.3 Dispositions de surveillance de l'installation souterraine mises en place dès la construction initiale en vue de la protection à long terme après la fermeture

Les dispositions de surveillance mises en œuvre sur l'INB Cigéo intègrent sa spécificité, en lien avec l'objectif de protection à long terme et des composants importants pour satisfaire cette protection à long terme qui doit être assurée de manière passive.

Ainsi, la stratégie de surveillance retenue par l'Andra intègre cet objectif à terme qui est qu'une fois l'installation souterraine fermée et scellée, le système de stockage assure les fonctions de sûreté après fermeture et à long terme et de manière passive (sans intervention).

Par ailleurs, la surveillance au regard des spécificités de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo et, en particulier, vis-à-vis de la maîtrise de la sûreté après fermeture nécessite d'être mise en place également dès la construction initiale pour certains processus.

Pour cela, des dispositions de surveillance sont mises en œuvre dès la phase de construction initiale, puis pendant la phase de fonctionnement et visent notamment à s'assurer du bon comportement des différents composants naturel (cas de la couche du Callovo-Oxfordien) et ouvragés pendant ces phases.

Ainsi, dès le creusement des ouvrages souterrains, la surveillance du comportement de la couche du Callovo-Oxfordien sera mise en œuvre afin de vérifier que son évolution reste dans le domaine des valeurs retenu pour l'évaluation de sûreté après fermeture et à long terme.

Pour ce qui concerne les alvéoles et colis de stockage HA vis-à-vis de la fonction « limiter le relâchement des radionucléides et des substances toxiques chimiques et les immobiliser dans le stockage », les dispositions de surveillance visent les conditions d'ambiance de l'alvéole (température, hygrométrie et présence d'eau liquide, présence d'oxygène ou d'hydrogène), la composition chimique de l'eau liquide récupérée en tête d'alvéole, les déformations des chemisages et des colis et l'état de corrosion des conteneurs. Pour les alvéoles du quartier de stockage HA, les besoins de surveillance seront réexaminés notamment au regard du retour d'expérience qui aura été capitalisé sur l'exploitation et la surveillance des alvéoles HA du quartier pilote pendant la phase industrielle pilote.

Pour ce qui concerne les alvéoles de stockage MA VL vis-à-vis de la même fonction de sûreté, l'Andra prévoit également la surveillance des conditions d'ambiance de l'alvéole ainsi que les éventuelles déformations de l'alvéole et des colis.

3.4 Dispositions prises afin de garantir la conservation de l'historique de l'installation et l'accessibilité aux données associées

L'Andra dispose d'un système de gestion de données et documents dédié au centre de stockage Cigéo, permettant d'assurer leur suivi de configuration et leur contextualisation tout au long de la vie du projet. Ces données et documents sont versés dans le système de gestion commun à toutes les activités de l'Andra.

L'ensemble des documents est élaboré ou traité et diffusé conformément aux procédures relatives à la maîtrise des documents et des enregistrements, génériques à l'ensemble des activités de l'Agence ou spécifiques au projet global Cigéo.

Plus particulièrement, la pérennité des systèmes de gestion est assurée par des sauvegardes multiples et par des migrations régulières des données vers des configurations matérielles et logicielles « contemporaines » tout en s'assurant de leur accessibilité par des programmes d'essais.

3.5 Dispositions prises afin de maintenir les compétences et la connaissance de l'installation

Les dispositions de maîtrise pérenne des compétences et de la connaissance de l'installation, exposées dans la « Pièce 9 - Capacités techniques de l'exploitant » (10), sont synthétisées ci-après.

3.5.1 Maintien des compétences

3.5.1.1 Compétences internes

Dans la dynamique des projets de l'Agence et afin d'assurer puis de garantir pleinement ses missions et accompagner son développement, l'Andra met en œuvre une politique des ressources humaines adaptée aux différents enjeux du projet global Cigéo.

Celle-ci s'articule autour des orientations suivantes :

- orientations en matière de recrutements interne et externe ;
- orientations en matière de formation et de gestion des emplois et des parcours professionnels ;

- orientations en matière de rémunérations ;
- orientations en matière de dialogue social ;
- orientations en matière de management des équipes.

3.5.1.2 Compétences externes

La stratégie industrielle de l'Andra en termes de sous-traitance se fonde sur plusieurs principes :

- privilégier la sous-traitance sur des activités qui ne sont pas considérées comme cœur de métier ;
- recourir à la sous-traitance pour des domaines de spécialités pour lesquels il est compliqué de maintenir la compétence dans la durée avec un nombre limité d'installations ;
- limiter le nombre de niveaux de sous-traitants ;
- privilégier la sous-traitance sur des activités pour lesquelles le marché présente une réelle offre concurrencée ;
- intégrer et responsabiliser les sous-traitants en particulier vis-à-vis des objectifs liés à la protection des intérêts (sûreté nucléaire, environnement, santé-sécurité…) en basant les relations sur des contrats partagés, éthique et raisonnables.

De ces faits, l'Andra a généralement recours à la sous-traitance pour des activités où peuvent intervenir des entreprises possédant déjà une expertise dans le domaine.

Grâce à leur expertise, ces entreprises peuvent faire bénéficier l'Andra de bonnes conditions techniques et économiques et être force de propositions grâce au savoir-faire de leur capital humain qu'elles acquièrent chez d'autres clients. La sous-traitance peut également être un choix pour pouvoir gérer « des pics d'activités ».

Les prestataires sont également associés à l'atteinte des objectifs. Ils sont impliqués dans la démarche d'amélioration continue avec par exemple : la participation au retour d'expérience des écarts, des incidents et le déploiement sur le terrain de solutions correctives.

3.5.2 Maintien de la connaissance de l'installation

Dans la continuité de la maîtrise des compétences, l'Andra développe une logique pérenne de maîtrise sur le long terme des connaissances associées à ses activités.

Les modalités mises en œuvre pour garantir le maintien de la connaissance respectent les standards de l'Agence internationale de l'énergie atomique relatifs à la maîtrise du risque de perte de connaissance, les exigences de la norme NF EN ISO 9001 de 2015 (11) relatives à la gestion des connaissances organisationnelles pour le management de la qualité, ainsi que les standards de l'Agence internationale de l'énergie atomique relatifs à la maîtrise du risque de perte de connaissances dans les organisations nucléaires. Ces modalités respectent également la décision n° 2017-DC-0616 de l'Autorité de sûreté nucléaire relatives à la prise en compte du retour d'expérience pour les modifications notables des Installations nucléaires de base (12).

La méthodologie de l'Andra pour l'organisation du partage, de la capitalisation, de la diffusion et du transfert des savoirs et savoir-faire nécessaires à la mise en œuvre de ses projets et activités est décrite dans le système de management intégré.

La maîtrise des connaissances est considérée comme partie intégrante de toute activité sur toute leur durée.

Le management des connaissances de l'Andra permet ainsi de :

- définir les savoirs et savoir-faire requis pour réaliser les activités ;
- identifier les risques et les opportunités associés ;
- planifier, mettre en œuvre et monitorer les actions de maîtrise de ces risques et opportunités ;
- faire vivre le patrimoine de connaissances et assurer son exploitation.

Les principes directeurs correspondants font partie du système de management intégré de l'Andra et la mise en œuvre des dispositions de maîtrise des connaissances est supervisée par des processus. Une fonction centrale dédiée, assure la structuration et la coordination des opérations, de façon transverse avec l'ensemble des entités organisationnelles et en interface avec les autres fonctions transverses et supports concernées (développement des compétences, gestion documentaire, archivage, programme Mémoire pour les générations futures, propriété intellectuelle, démarche d'innovation et assurance qualité, notamment).

Les dispositions de maîtrise des connaissances s'appliquent à l'ensemble des activités, projets et métiers de l'Andra et à l'intégralité des connaissances concernées circulant au sein de son écosystème d'acteurs.

Les dispositions de maîtrise des connaissances sont notamment :

- le partage et la formalisation des connaissances en fonction de leur criticité et de leur potentiel de réutilisation ;
- le partage d'expérience, l'élaboration de bonnes pratiques, leur diffusion et le renouvellement des connaissances ;
- l'actualisation et le tri des données et documents techniques nécessaires au partage efficace des connaissances.

Les travaux s'alimentent de façon mutuelle à travers les différentes dispositions de maîtrise, pour la capitalisation et le partage des savoirs et savoir-faire concernés ainsi que pour le développement des méthodes et techniques et pour la diffusion et l'amélioration continue des pratiques de gestion des connaissances.

3.6 Estimation des quantités et modalités de gestion des déchets radioactifs issus du démantèlement[6]

Des déchets radioactifs sont potentiellement produits pendant l'étape de démantèlement et d'assainissement jusqu'au déclassement des installations nucléaires de surface. Après déclassement, la démolition finale produit essentiellement des gravats conventionnels non traités dans ce chapitre.

3.6.1 Origine des déchets radioactifs induits par le démantèlement

Des déchets radioactifs peuvent être produits durant les étapes suivantes :

- la fermeture du quartier pilote HA ;
- le démantèlement des équipements et l'assainissement du bâtiment nucléaire EP1 ;
- la fermeture du quartier de stockage MA-VL ;
- le démantèlement des équipements et l'assainissement du bâtiment nucléaire EP2 ;
- la fermeture du quartier de stockage HA.

Les évaluations de quantité de déchets produits durant la phase de démantèlement et de fermeture sont basées sur le zonage de déchets de l'installation. Ces déchets produits sont liés au déséquipement des cellules et locaux classés en zone à déchets nucléaires (ZDN) puis à l'écroutage du béton du génie civil sur quelques millimètres des zones correspondantes.

[6] Tenant compte des solutions de gestion existantes ou en projet, développées dans le cadre du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs

3.6.2 Type de déchets générés

Les déchets nucléaires produits sont des déchets de très faible activité (TFA).

Les déchets produits sont liés au déséquipement des cellules et locaux classés ZppDN puis à l'écroutage du béton du génie civil sur quelques millimètres des zones correspondantes. Les équipements et zones seront potentiellement contaminés superficiellement par voie sèche.

Les opérations de démantèlement dans l'installation souterraine produisent très peu de déchets radioactifs. Ceux-ci sont notamment liés au déséquipement du système de ventilation nucléaire associée aux alvéoles MA-VL.

3.6.3 Bilan des déchets de démantèlement

Les déchets issus du démantèlement des bâtiments et ouvrages nucléaires en surface sont produits d'une part à l'horizon 2100 (dont le bâtiment nucléaire EP1) et d'autre part à l'horizon 2150 (dont le bâtiment nucléaire de surface EP2).

Les déchets nucléaires produits pendant ces étapes par l'installation souterraine sont très limités en comparaison, y compris pendant la fermeture du quartier de stockage MA-VL qui intervient au même horizon que le démantèlement du bâtiment nucléaire de surface EP1.

Le volume annuel moyen de déchets estimé sur les six années estimées à ce stade pour le démantèlement du bâtiment nucléaire de surface EP1 est d'environ sept tonnes de gravats béton, 800 tonnes de déchets métalliques non compactables et huit tonnes de déchets métalliques compactables. La masse de déchets de démantèlement par bâtiment est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 3-1 Bilan des quantités de déchets de démantèlement (tonnes) estimées à ce stade

Ouvrage	Masse (en tonnes)	Période
EP1	**5 000**	Horizon 2100
ET-H	**1 550**	Horizon 2100
EP2	**1 550**	Horizon 2150
Alvéoles MA-VL	**9**	Horizon 2100

3.6.4 Tri des déchets

Les déchets produits par les opérations de démantèlement sont triés au regard des spécifications de prise en charge par les installations destinatrices (traitement ou exutoire). Le tri est réalisé selon :

- le zonage d'origine ;
- la nature du déchet (solide, liquide, métallique, plastique, terre…) ;
- les caractéristiques radiologiques (activités, spectres, catégories de déchets) ;
- leur filière d'élimination (cession, recyclage, mise en décharge…).

Ce tri permet ainsi de définir la filière d'évacuation adéquate et le mode de conditionnement adapté :

- conditionnés voire stockés *in situ* en recherchant, de manière volontaire et proactive, l'auto-suffisance et la minimisation de l'impact global si les conditions de respect de l'environnement (diminution des ressources énergétiques nécessaires) et technico-économiques l'imposent ;
- évacués vers la filière appropriée pour être soit traités (centre d'incinération, station de traitement d'effluents liquides, atelier de découpe, etc.), soit stockés.

3.7 Études à réaliser et éventuels travaux de recherche et développement à mener

En regard du développement progressif de l'INB Cigéo et de la date lointaine de réalisation des scellements de l'installation souterraine, plusieurs solutions techniques de ces scellements sont envisagées à ce stade laissant ainsi une flexibilité vis-à-vis des solutions technologiques qui seront retenues *in fine* permettant ainsi de bénéficier :

- des progrès scientifiques et technologiques disponibles au moment de la réalisation de ces ouvrages ;
- de l'expérience acquise lors de l'exploitation de l'INB elle-même et notamment celle issue des démonstrateurs réalisés dans le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute Marne en situation représentative et dans l'installation nucléaire de base Cigéo en environnement réel.

Le choix technique détaillé interviendra dans la temporalité précédant la réalisation des premiers scellements dans l'installation nucléaire de base Cigéo. Ce choix interviendra nécessairement au-delà de la phase industrielle pilote. En effet, le code de l'environnement indique que pendant cette phase, les colis « *doivent rester aisément récupérables* » (article L. 542-10-1 du code de l'environnement).

Des mesures conservatoires dès la construction initiale permettent la réalisation future des ouvrages de fermeture. Il s'agit notamment :

- de garder sous surveillance les verses vives pour maîtriser leur qualité en limitant leur traitement. Il s'agit en effet de laisser la liberté future de pouvoir remanier à façon les argilites excavées en limitant des manipulations irréversibles (ajout de matériaux) au moment de leur stockage en verses ;
- de laisser ouvert le choix des matériaux afin de ne pas dépendre de filières extérieures de gestion dont les capacités pourraient varier dans le temps.

La capitalisation de plus de 25 ans de travaux scientifiques et technologiques intégrant notamment les résultats des travaux des groupements de laboratoires, ainsi que les essais menés dans le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne permettent de justifier, à date, la définition préliminaire des ouvrages de fermeture vis-à-vis de leurs spécifications.

Ce socle de connaissance s'appuie en particulier sur :

- les essais de démonstration technologique et/ou de comportement phénoménologique aux différentes échelles menés par l'Andra *in situ* dans le Laboratoire souterrain ou en surface ;
- les simulations (temps, espace) de l'évolution phénoménologique du stockage à l'échelle des ouvrages et du stockage en grand ;
- un socle de connaissances décrivant, de manière synthétique, l'état des connaissances relatives à un ensemble de processus phénoménologiques mis en jeu dans le stockage.

La temporalité lointaine de réalisation des ouvrages de fermeture laisse la possibilité de continuer à chercher les meilleures techniques disponibles parmi plusieurs options en vue de la demande de fermeture sans figer dès la phase de construction initiale une seule solution. La stratégie d'engager un programme scientifique et technologique pour vérifier la mise en œuvre et la performance de gammes de solutions techniques étudiées en environnement représentatif (en termes de dimensions caractéristiques et en souterrain) en soutien à l'instruction du dossier de demande d'autorisation de création et préparer les futurs démonstrateurs mis en place au cours de la phase industrielle pilote (Phipil) se justifie par :

- l'attente des évaluateurs sur la réalisation de démonstrateurs d'ouvrages dès la Phipil pour conforter (i) la faisabilité technologique et (ii) l'atteinte des performances visées et emporter la conviction de la capacité à fermer l'installation (plus tard) ;
- et les durées d'acquisition/suivi expérimentales très longues (typiquement de l'ordre de la décennie *a minima*) justifiant la logique d'engager un programme de démonstrateurs successivement en conditions représentatives pour préparer les démonstrateurs en situation opérationnelle dans l'installation souterraine de l'INB Cigéo avant d'engager la mise en œuvre en situation réelle.

Ainsi, dans la continuité des travaux menés depuis plus de 25 ans, l'Andra prévoit de poursuivre progressivement la réalisation de démonstrateurs d'ouvrages de fermeture (scellement et remblai) :

- d'abord au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne en environnement représentatif des ouvrages envisagés pour les opérations industrielles de fermeture complété par des essais de performance (mécanique, hydro--mécanique et gaz). Par ailleurs, lorsqu'elle sera décidée, la fermeture du Laboratoire souterrain de recherche de Meuse/Haute-Marne pourra intégrer un démonstrateur de scellement de puits (vertical) ;
- puis dans l'INB Cigéo dans le cadre de la phase industrielle pilote. Le suivi de ces démonstrateurs sera poursuivi pendant la phase de fonctionnement du stockage afin de disposer d'un retour d'expérience important quant à leur comportement et à leurs performances au moment de l'engagement des opérations industrielles de fermeture une fois celles-ci autorisées.

Tout au long de ces développements, l'Andra exercera une veille (matériaux, procédés, techniques de réalisation) dans le cadre de l'amélioration continue et de la recherche des meilleures techniques disponibles pour alimenter le processus de développement industriel, d'optimisation et d'accroissement des marges de sûreté (cf. Pièce 20 « Plan de développement de l'INB »).

4

Le déroulement des opérations de fermeture du stockage

4.1 Obturation des alvéoles MA-VL et fermeture du quartier de stockage MA-VL 36
4.2 Quartier pilote HA et quartier de stockage HA 44
4.3 Zones de soutien logistique 49
4.4 Liaisons surface-fond 49

4.1 Obturation des alvéoles MA-VL et fermeture du quartier de stockage MA-VL

4.1.1 État de l'alvéole MA-VL en attente de la fermeture

La configuration de l'alvéole MA-VL en phase de fonctionnement est illustrée sur la figure 4-1.

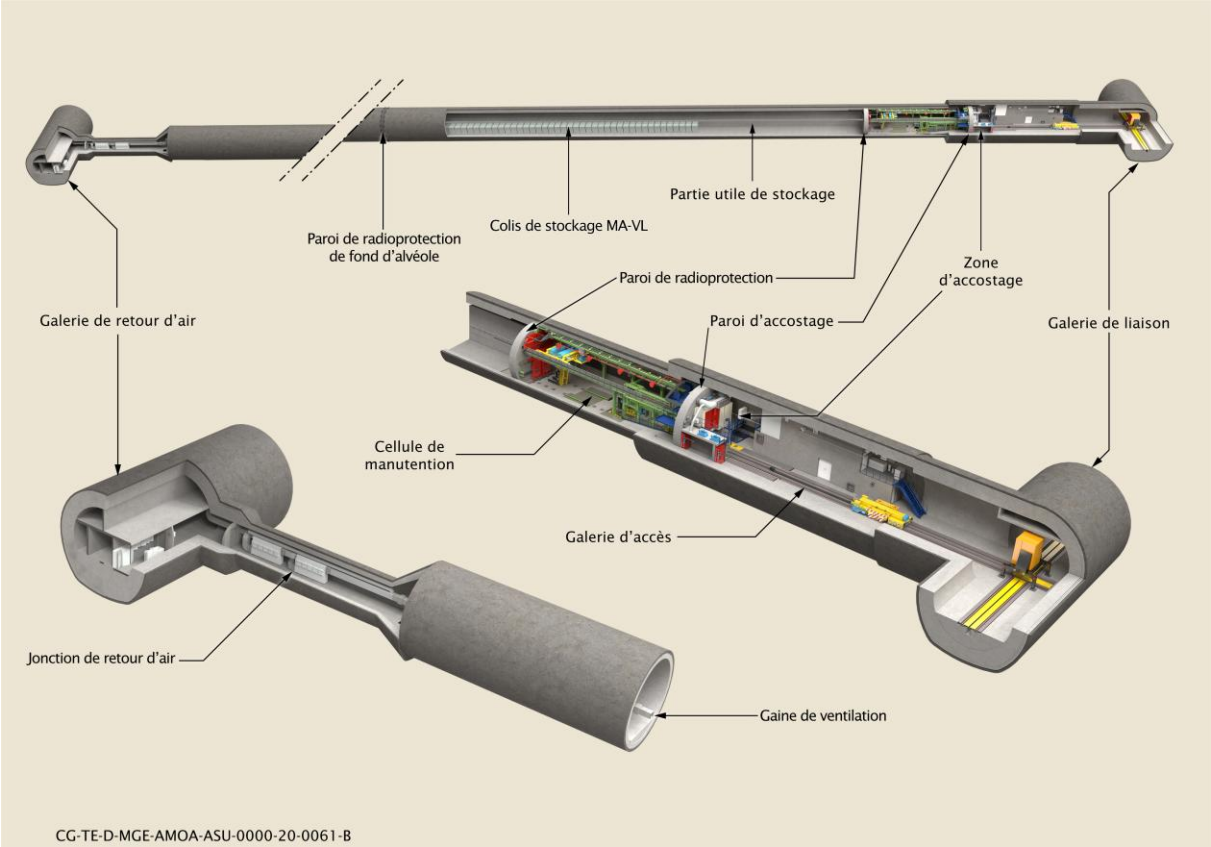


Figure 4-1 Vue globale de l'alvéole MA-VL en phase de fonctionnement

Au fur et à mesure du remplissage de l'alvéole, une protection radiologique est placée à l'intérieur de l'alvéole au plus près des colis de déchets radioactifs MA-VL stockés. Cette protection prend la forme d'un « mur de radioprotection ». À l'issue de la mise en place de ce mur de radioprotection, un test de contamination de la cellule de manutention est réalisé. L'alvéole est ensuite mis sous cocon pour permettre ultérieurement une éventuelle récupération de colis. Cette mise sous cocon consiste à mettre en veille, dans la cellule de manutention, les équipements qui ne sont plus utilisés et qui ne nécessitent pas de maintenance et à retirer les équipements nécessitant de la maintenance. La ventilation est maintenue pendant cette phase d'attente avant fermeture de l'alvéole. L'alimentation électrique des équipements mis sous cocon est également mise hors tension (cf. Figure 4-2).

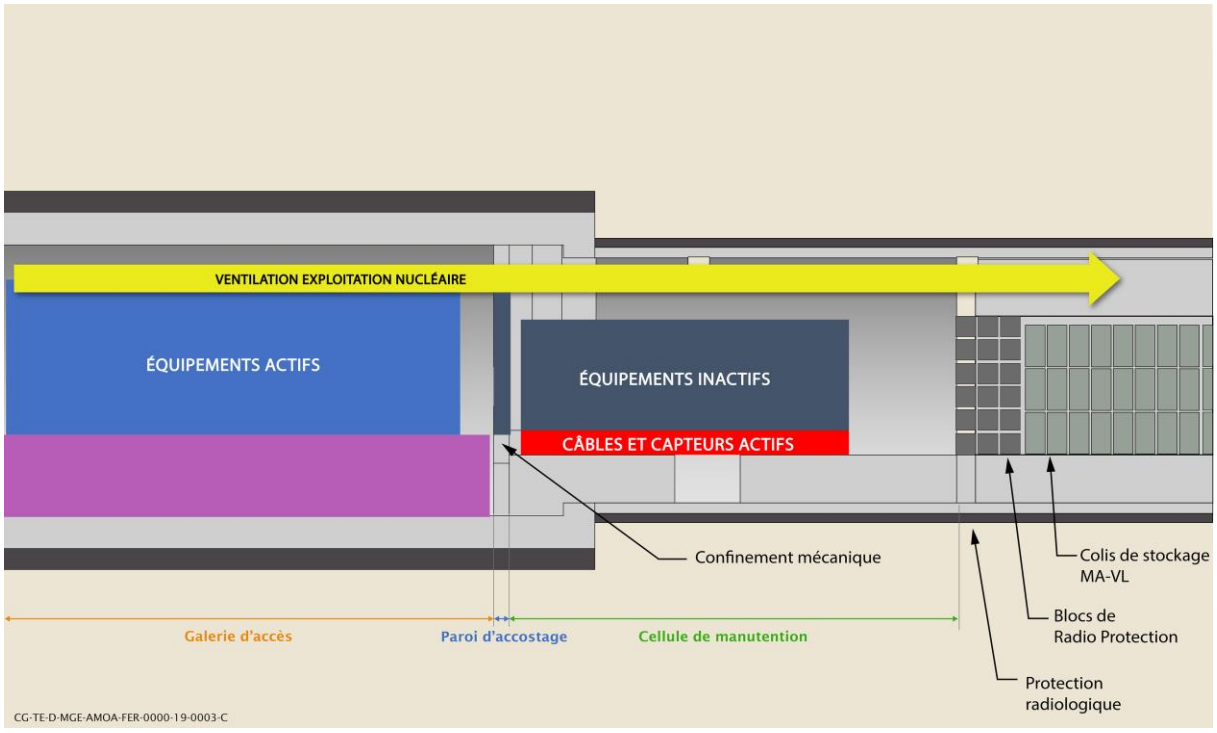


Figure 4-2 *État de l'alvéole en attente de l'étape 1 de fermeture (obturation de l'alvéole) côté galerie d'accès*

Synthèse des opérations préalables à la fermeture d'alvéole MA-VL :

- mise en place des éléments du mur de radioprotection ;
- test de contamination de la cellule de manutention ;
- mise sous cocon des équipements de l'alvéole.

4.1.2 Étapes de fermeture

La figure ci-après présente les différentes étapes de fermeture qui vont de l'obturation des alvéoles MA-VL jusqu'à la fermeture du quartier de stockage MA-VL.

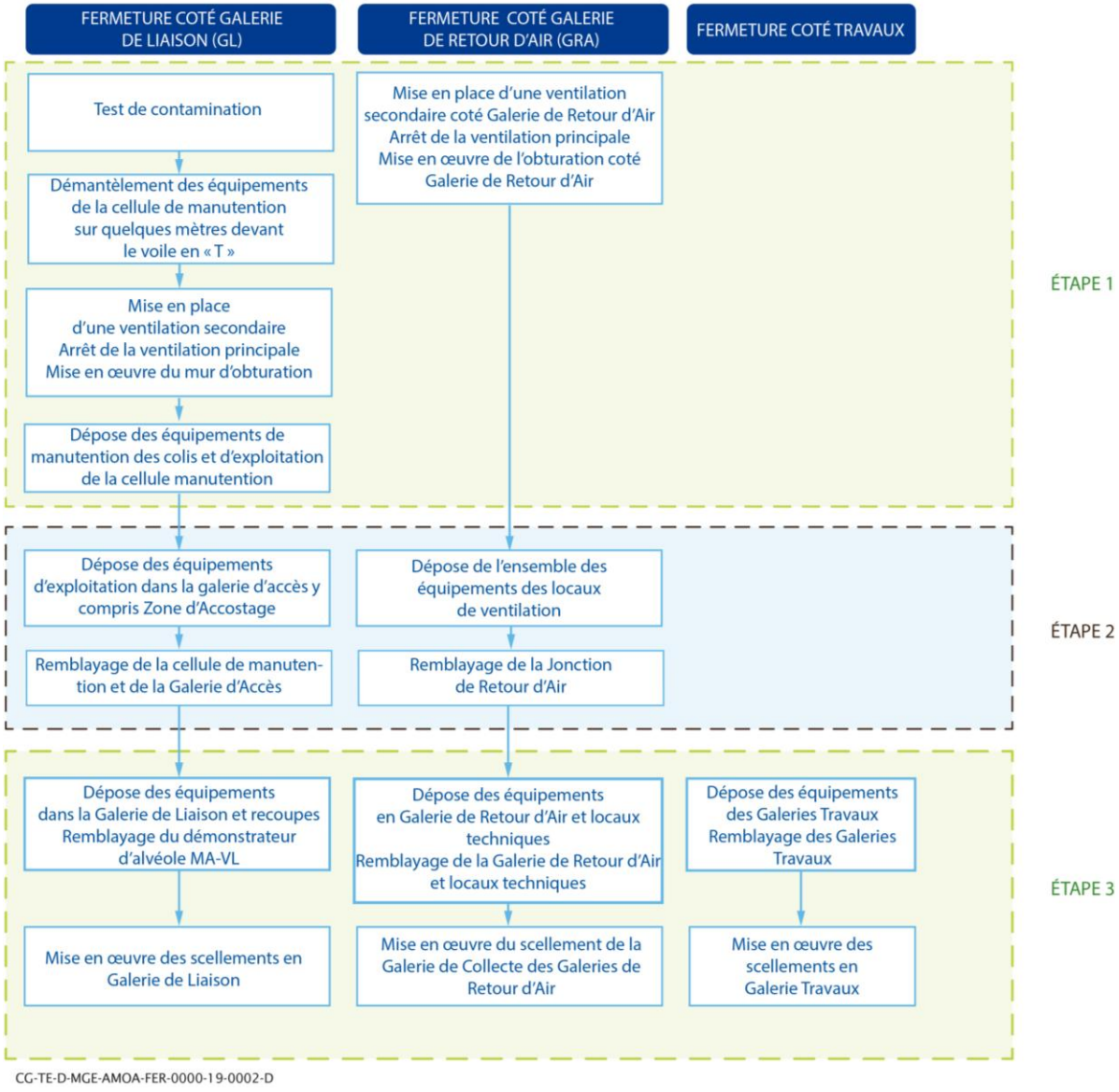


Figure 4-3 Schéma des étapes de fermeture pour le quartier de stockage MA-VL

4.1.3 Modalités de fermeture envisagées pour le quartier de stockage MA-VL

4.1.3.1 Étape 1 – Obturation de l'alvéole

L'objectif de cette étape de fermeture consiste à obturer la partie utile de l'alvéole pour l'isoler de sa cellule de manutention sur le plan phénoménologique et en particulier du point de vue de la radioprotection et du confinement. Cette étape comprend aussi l'enlèvement des équipements de manutention des colis et des équipements d'exploitation (notamment écran de radioprotection, façade d'accostage) au niveau de la cellule de manutention.

Les dispositifs d'obturation de l'alvéole présentés ci-après sont dimensionnés pour permettre de placer définitivement chaque galerie d'accès en zone à « déchets conventionnels ». Le déclassement de la cellule de manutention de la classe de confinement C2 vers la classe C1 permet de faciliter la poursuite des opérations de déséquipement dans la cellule de manutention, puis dans la galerie d'accès.

Lors du démarrage de cette étape, des mesures, telles que des tests de contamination, décontamination des équipements et lessivage du génie civil si besoin, sont mises en œuvre pour assurer la non-contamination de la cellule de manutention. Ensuite, les équipements de manutention des colis et d'exploitation de la cellule de manutention sont déposés sur quelques mètres devant le voile d'entrée de la zone de stockage permettant le déploiement d'un atelier à front (cf. Figure 4-4). Le démantèlement est réalisé sous sas afin de capter au plus proche la contamination résiduelle et d'éviter d'introduire des poussières dans le flux d'air vers l'alvéole.

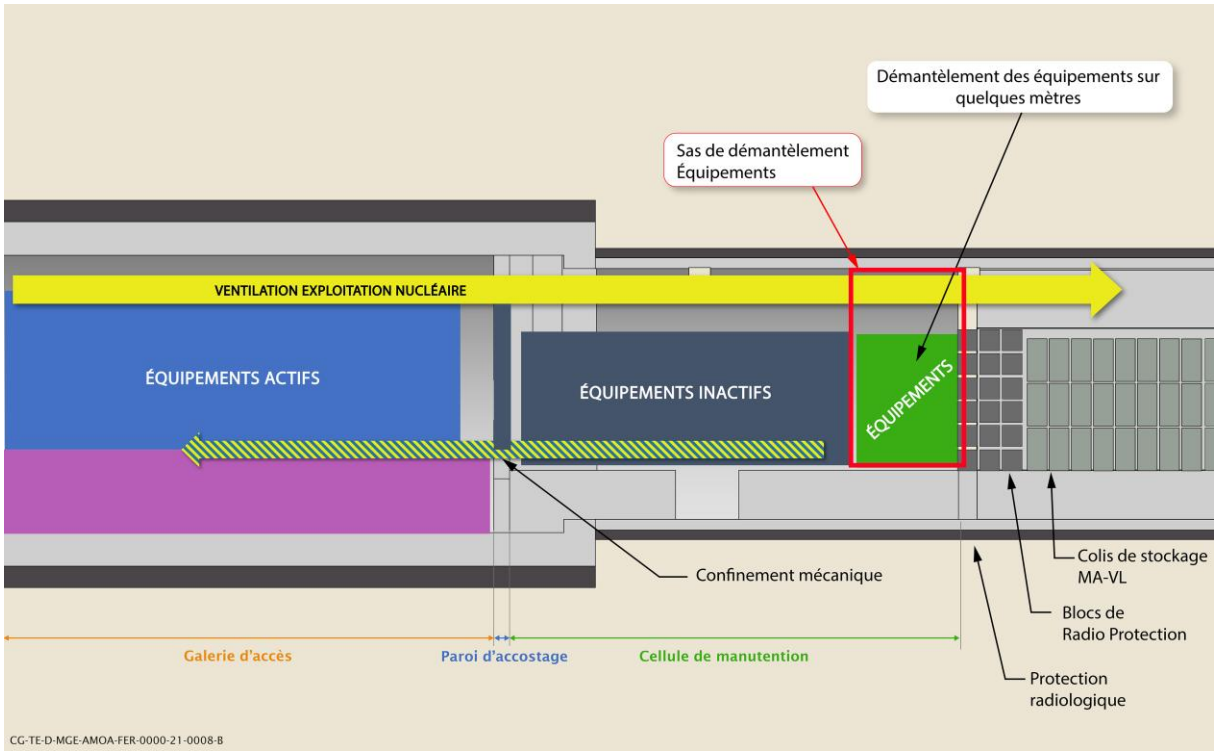


Figure 4-4 *Démantèlement des équipements de la cellule de manutention sur quelques mètres devant le voile de radioprotection à l'entrée de la zone de stockage*

Une fois ces équipements déposés, une ventilation secondaire est mise en place dans la galerie d'accès (respectivement, dans la jonction de retour d'air) (cf. Figure 4-5). Elle permet d'assurer la ventilation en pleine section par balayage de la galerie jusqu'au mur de séparation avec la zone de stockage (respectivement le mur de fond d'alvéole), l'air frais étant prélevé sur le circuit d'air principal en galerie de liaison (respectivement en galerie de retour d'air).

Une fois les équipements retirés et la ventilation secondaire mise en place, les opérations suivantes consistent à obturer la paroi de radioprotection de fond d'alvéole du côté de la jonction de retour d'air et la paroi de radioprotection du côté de la cellule de manutention (cf. Figure 4-5).

Après ces étapes d'obturation, le reste des équipements de manutention des colis et les équipements d'exploitation de la cellule manutention sont démantelés.

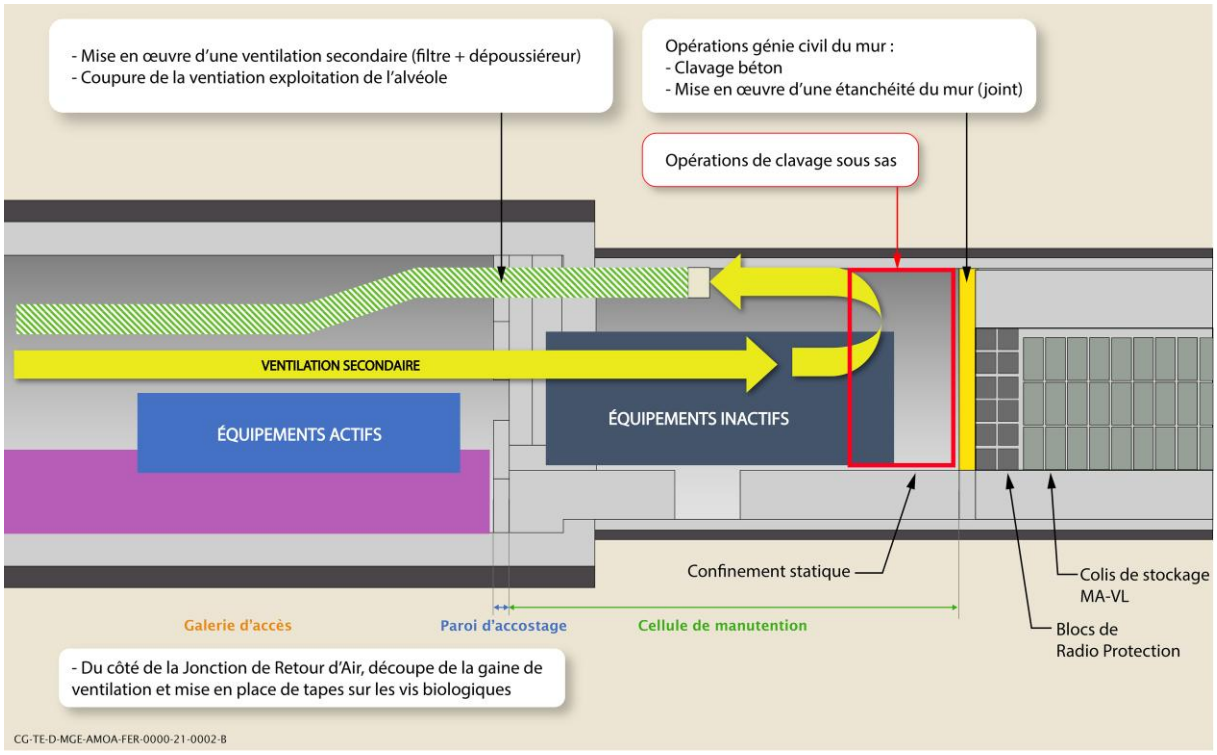


Figure 4-5 *Mise en place d'une ventilation secondaire, arrêt de la ventilation exploitation de l'alvéole et mise en œuvre de l'obturation de l'alvéole*

Synthèse des opérations d'obturation d'un alvéole MA-VL :

- test de contamination ;
- démantèlement des équipements de la cellule de manutention sur quelques mètres devant le voile de radioprotection à l'entrée en zone de stockage ;
- mise en place d'une ventilation secondaire et arrêt de la ventilation exploitation de l'alvéole ;
- mise en œuvre des obturations de l'alvéole au niveau du voile en T et des vis biologiques du mur de fond de l'alvéole à l'aide de tapes étanches ;
- démantèlement des équipements de manutention des colis et d'exploitation de la cellule manutention.

4.1.3.2 Étape 2 – Fermeture de la galerie d'accès et de la jonction de retour d'air de l'alvéole MA-VL

La réalisation de l'étape 2 de fermeture consiste au remblayage de la cellule de manutention, de la galerie d'accès à l'alvéole y compris la zone d'accostage, et de la jonction de retour d'air. Le reste des équipements d'exploitation à l'intérieur des alvéoles est enlevé préalablement au remblayage.

Après l'obturation de l'alvéole (étape 1), les équipements d'exploitation de la galerie d'accès y compris la zone d'accostage de l'alvéole sont déposés et le sas d'accostage est ensuite démonté, le voile béton restant en place.

Les équipements susceptibles de constituer des déchets sont laissés en place sous réserve d'une évaluation :

- qu'ils ne génèrent pas de volume de vide résiduel supplémentaire ;
- que les surfaces et les masses d'acier correspondantes ne constituent pas une source significative d'hydrogène par corrosion anoxique en regard de celle des alvéoles desservis par les galeries concernées ;
- et que leur stockage définitif dans l'installation souterraine présente un intérêt technico-économique.

Les équipements volumineux retirés sont quant à eux acheminés vers la surface par la descenderie de service et ensuite traités. Les petits déchets produits durant les opérations de fermeture (gants, outils usagés…) sont conditionnés sur place puis envoyés vers le local déchets d'exploitation de la zone de soutien logistique avant d'être acheminés vers la surface par la descenderie de service.

Les équipements présents dans la jonction de retour d'air sont retirés et traités en simultané ou après le démantèlement de ceux situés côté galerie d'accès. Le démantèlement des réseaux et systèmes est réalisé. Les mêmes moyens de soutien qu'en exploitation courante sont utilisés, avec en complément l'utilisation d'outils pour découper les gaines, tuyauteries, charpente métallique, etc.

Le démantèlement des équipements est réalisé sous sas avec une ventilation de type nucléaire (exemple : caisson mobile très haute efficacité avec extracteur, avec un contrôle de l'air prévu au niveau de l'extraction et une balise de radioprotection au point de rejet).

Durant toutes ces opérations, des dépoussiéreurs sont installés au droit des travaux (aspiration des poussières à la source) afin de limiter au maximum la propagation des poussières.

Après le démantèlement des équipements de l'alvéole, les éventuelles cavités laissées en radier sont obturées de manière à limiter les vides. La cellule de manutention, la galerie d'accès y compris la zone d'accostage sont ensuite fermées, au moyen d'un remblai peu compressible ou de matériaux issus des verses vives (cf. Figure 4-6), avec toutefois la possibilité d'ajout d'autres matériaux ou d'additifs en quantités limitées. Un sas est placé à l'entrée de la galerie d'accès pour limiter la génération de poussières.

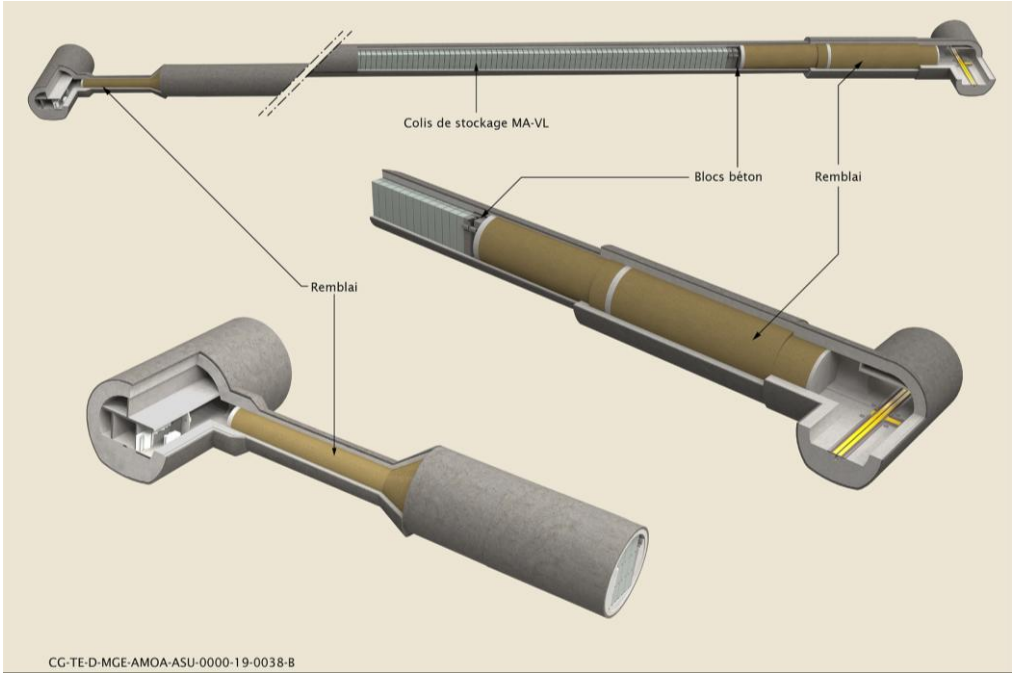


Figure 4-6 *Alvéole MA-VL et galerie d'accès obturés et galeries de liaison et de retour d'air non obturées*

Des opérations identiques au niveau de la jonction de retour d'air sont effectuées en parallèle ou après les opérations réalisées du côté de la galerie d'accès.

Les gaines de ventilation secondaire mises en œuvre dans la galerie de liaison et dans la jonction de retour d'air sont retirées au fur et à mesure de l'avancement du chantier de remblayage (de l'alvéole vers la carrure).

Synthèse des opérations de fermeture de la galerie d'accès et de la jonction de retour d'air de l'alvéole MA-VL :

- démantèlement des équipements d'exploitation de la galerie d'accès y compris la zone d'accostage ;
- mise en œuvre en cellule de manutention et galerie d'accès d'un remblai constitué d'argilites provenant des verses vives ;
- démantèlement en parallèle des équipements et mise en œuvre en jonction de retour d'air d'un remblai constitué d'argilites provenant des verses vives.

4.1.3.3 Étape 3 – Fermeture des galeries de liaison

La réalisation de l'étape 3 de fermeture du quartier de stockage MA-VL correspond à la fermeture des galeries de liaison et comprend :

- le retrait des équipements d'exploitation et des gaines de ventilation (dalles béton des plénums de ventilation) en galeries de liaison, en recoupes et en galeries de retour d'air ;
- le remblayage des galeries de liaison, des différentes recoupes, des galeries de retour d'air et des galeries travaux, avec des matériaux issus des verses vives ;
- la réalisation des scellements du quartier de stockage MA-VL. Les positions de ces scellements sont indiquées dans la figure 4-7.

De manière globale, l'étape 3 concerne toutes les galeries de liaison (et leurs recoupes) jusqu'à leur dernier scellement (inclus) avant les zones de soutien logistique. Les opérations de cette étape 3 sont effectuées par segment de galeries, à rebours du fond des galeries à l'est du quartier vers l'entrée à l'ouest du quartier. Après le retrait complet des équipements, les éventuelles cavités laissées en radier sont obturées de manière à limiter les vides. Dans les zones de mise en œuvre de scellement, le radier est enlevé et certaines zones du revêtement sont déposées pour permettre la mise en mise en contact du noyau de scellement avec les argilites du Callovo-Oxfordien.

Tout au long des opérations de cette étape, une ventilation secondaire est mise en place dans les galeries de liaisons et galeries de retour d'air. Les gaines de ventilation sont démontées au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

Les sas sont mis en place dans les galeries de liaison et les galeries de retour d'air (cf. Figure 4-7 Les galeries travaux à l'est du quartier de stockage MA-VL (cf. Tronçon de galeries en noir sur la figure 4-7) sont remblayées par un matériau constitué avec des argilites issues des déblais (verses vives) additionné le cas échéant de matériaux destinés à en ajuster les propriétés, faciliter sa fabrication ou sa mise en place. Le remblai est acheminé à partir de la zone de soutien logistique travaux (*via* le puits matériel et matériaux travaux). Les chantiers associés au démantèlement et à la fermeture de cette zone du quartier de stockage MA-VL restent complètement indépendants de la zone exploitation du quartier de stockage HA.

La fermeture des galeries restantes (galeries de liaison, galeries de retour d'air, recoupes, et partie des galeries travaux restante située au nord du quartier) peut être effectuée par tronçon. Un exemple de séquencement des travaux de fermeture de ces galeries restantes (effectués de l'est vers l'entrée du quartier de stockage MA) est illustré à la figure 4-7. Les sas « interface exploitation/travaux » sont démontés. Ensuite, les équipements des galeries et recoupes sont démontés, les parois de génie civil intérieur sont déconstruites.

Les galeries de liaisons et galeries de retour d'air étant remblayées, les scellements en galeries de retour d'air (collecte de galeries de retour d'air) et galeries de liaison sont mis en œuvre. Cette opération marque la fermeture complète du quartier de stockage MA-VL et la fin de l'étape 3.

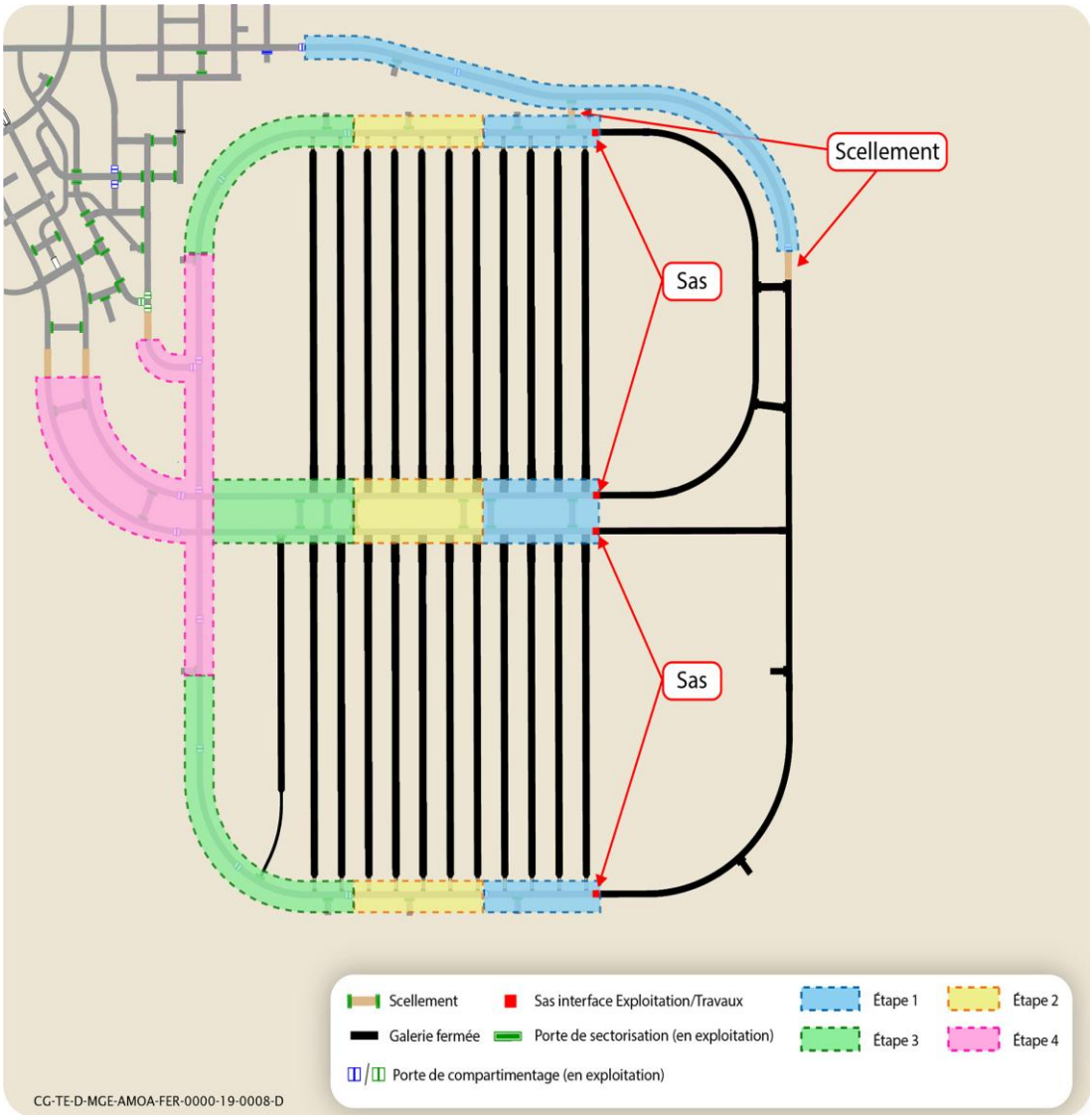


Figure 4-7 *Fermeture étape 3 – Positionnement des sas et des scellements du quartier de stockage MA-VL et phasage des opérations de remblayage*

Synthèse des opérations de fermeture des galeries de liaison

- démantèlement de l'ensemble des équipements travaux présents dans les galeries travaux et les recoupes et de l'ensemble des équipements d'exploitation présents dans les galeries de liaison, les recoupes et la galerie de retour d'air par tronçons successifs ;
- remblayage des galeries du quartier de stockage MA-VL avec les verses vives par tronçons successifs ;
- construction des scellements de la recoupe, des scellements des galeries travaux, des scellements des galeries de liaison et du scellement de la collecte de galeries de retour d'air.

4.2 Quartier pilote HA et quartier de stockage HA

4.2.1 État de l'alvéole HA en attente de la fermeture

Dès la fin du remplissage d'un alvéole HA, les conteneurs de fermeture sont insérés dans l'alvéole (cf. Figure 4-8). Les éléments du « bouchon d'alvéole HA » sont, à ce stade, des éléments préfabriqués sous forme de conteneurs métalliques, à ouverture différée, remplis d'un matériau argileux destiné à obturer par gonflement la tête de l'alvéole HA.

La bride est refermée après la mise en place des éléments du bouchon d'alvéole dans l'attente de fermeture du quartier et notamment pour les opérations de l'étape 1 de fermeture.

Afin de placer l'alvéole en atmosphère peu oxydante immédiatement après le chargement de l'alvéole, il est procédé à un inertage en balayant l'air contenu dans l'alvéole avec de l'azote. Ce balayage est réalisé en tant que de besoin jusqu'à ce que l'étape 1 de fermeture soit enclenchée.

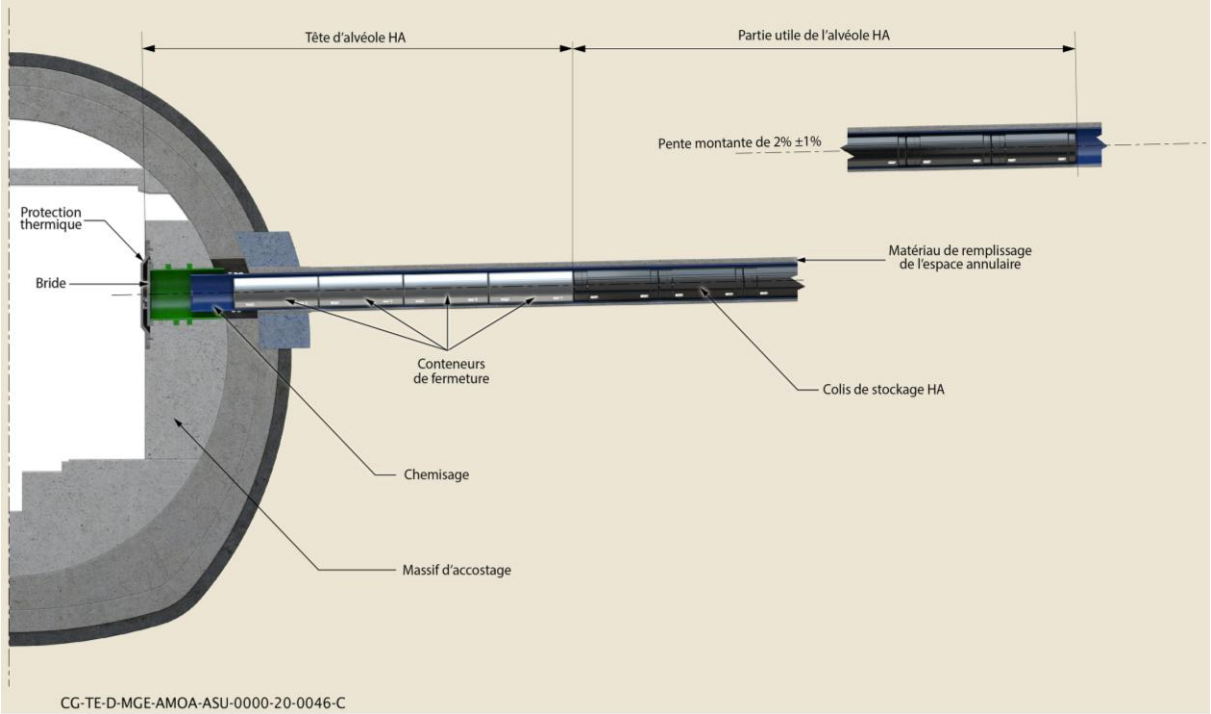


Figure 4-8 Schéma de principe d'un alvéole HA en attente de fermeture

Synthèse des opérations préalables à la fermeture d'un alvéole HA :

- mise en place des conteneurs de fermeture ;
- remise en place de la bride d'exploitation.

4.2.2 Étapes de fermeture du quartier pilote HA et du quartier de stockage HA

Nonobstant le fait que le quartier pilote HA et le quartier de stockage HA soient construits et fermés à des périodes distinctes, leurs fermetures suivent le même séquencement.

L'ensemble « quartier de stockage HA » et « quartier pilote HA » est dénommé « zone de stockage HA ».

La figure ci-dessous présente les différentes étapes de fermeture de la zone de stockage HA qui vont de l'obturation des alvéoles jusqu'à la fermeture des quartiers.

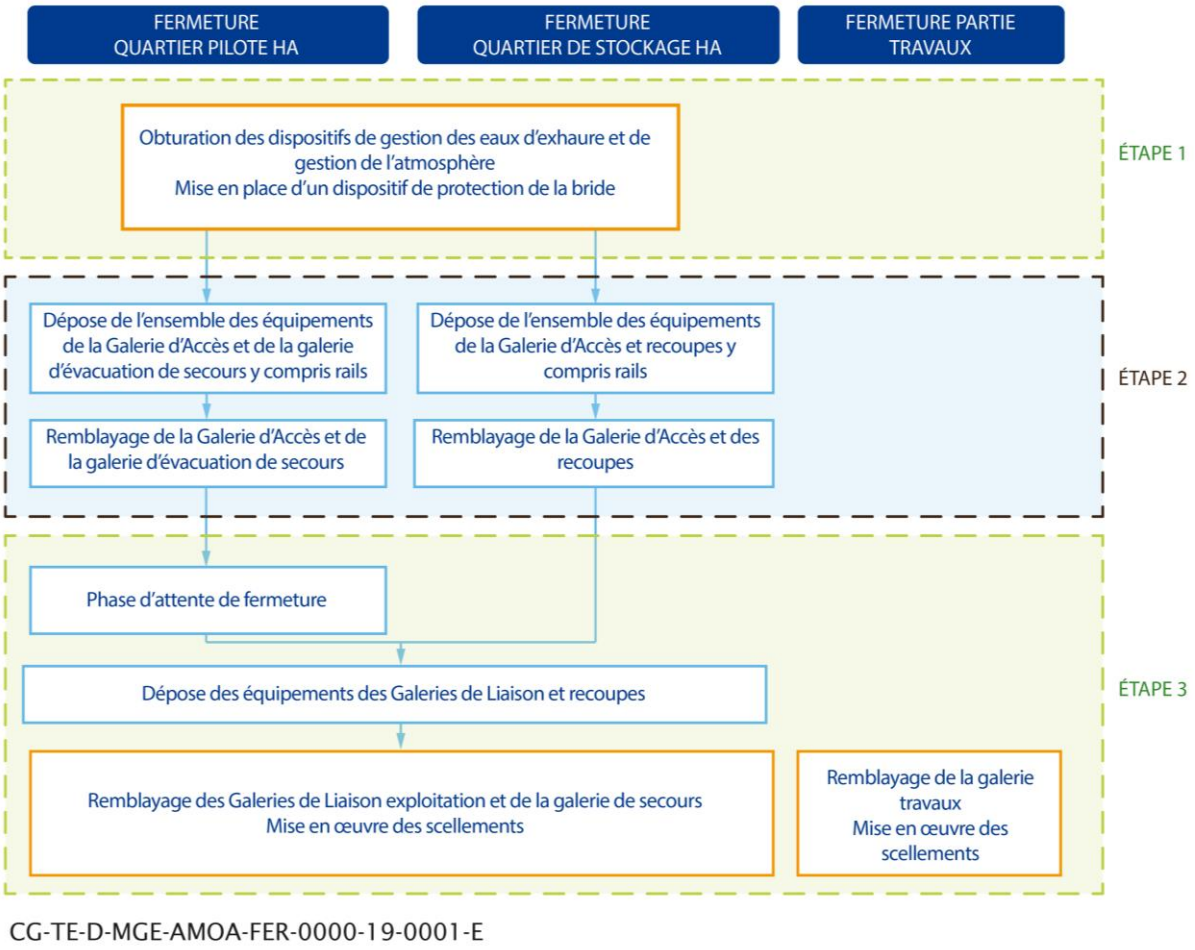


Figure 4-9 Schéma des étapes de fermeture pour la zone de stockage HA

4.2.3 Modalités de fermeture envisagées pour la zone de stockage HA

4.2.3.1 Étape 1 – Obturation d'alvéole HA

La réalisation de l'étape 1 de fermeture consiste à obturer les connexions des dispositifs de gestion des eaux d'exhaure et de l'atmosphère. La bride d'exploitation reste en place.

L'obturation des réseaux est réalisée en fermant les vannes au niveau de la tête d'alvéole. Elles sont laissées en place pour faciliter les éventuelles opérations de réouverture.

La protection thermique de la bride mise en place pendant l'exploitation permet d'assurer la protection lors des travaux de remblayage et préserve la bride pour les éventuelles opérations ultérieures de réouverture.

Synthèse des opérations d'obturation d'alvéole HA :

- obturation des connexions des dispositifs de gestion de l'eau et de l'atmosphère ;
- maintien de la bride en place.

4.2.3.2 Étape 2 – Fermeture de la galerie d'accès à l'alvéole HA et des recoupes

La réalisation de l'étape 2 de fermeture consiste en la fermeture de la galerie d'accès aux alvéoles HA et des recoupes, à savoir, la fermeture de chaque sous-quartier de stockage HA.

Il n'est pas nécessaire que l'ensemble des alvéoles soient fermés à l'étape 1 avant de pouvoir passer à l'étape 2.

Lors de l'étape 2 de fermeture, les équipements susceptibles de constituer des déchets sont laissés en place sous réserve d'une évaluation :

- qu'ils ne génèrent pas de volume de vide résiduel supplémentaire ;
- que les surfaces et les masses d'acier correspondantes ne constituent pas une source significative d'hydrogène par corrosion anoxique en regard de celle des alvéoles desservis par les galeries concernées ;
- et que leur stockage définitif dans l'installation souterraine présente un intérêt technico-économique.

Les équipements volumineux retirés sont quant à eux acheminés vers la surface par la descenderie de service et ensuite traités. Les petits déchets produits durant les opérations de fermeture (gants, outils usagés…) sont conditionnés sur place puis envoyés vers le local déchets exploitation de la zone de soutien logistique avant d'être acheminés vers la surface par la descenderie de service.

Après le retrait complet des équipements, les éventuelles cavités laissées en radier sont obturées de manière à limiter les vides.

La galerie d'accès HA et les recoupes sont remblayées intégralement par un matériau composé essentiellement d'argilites issues déblais de creusement additionné le cas échéant de matériaux destinés à en ajuster les propriétés, faciliter la fabrication ou la mise en place.

Avant la fermeture de la galerie d'accès HA, une plaque de protection ainsi qu'un avertisseur sont positionnés devant les têtes d'alvéoles. Ces dispositions sont destinées à permettre de retrouver aisément le positionnement des alvéoles et ne pas abîmer les têtes d'alvéoles ainsi que les connexions des instruments lors des travaux de réouvertures si une opération de récupération des colis était décidée.

Les chantiers de fermeture ne sont pas réalisés simultanément pour l'ensemble des galeries d'accès du quartier de stockage HA compte tenu du mode de ventilation mis en place. Ces travaux sont réalisés de manière séquencée.

Synthèse des étapes de fermeture de la galerie d'accès à l'alvéole HA et des recoupes :

- démantèlement de l'ensemble des équipements présents dans la galerie d'accès ;
- mise en œuvre d'un remblai composé à base d'argilites issues des déblais additionné le cas échéant de matériaux destinés à en ajuster les propriétés, faciliter la fabrication ou la mise en place pour remplir intégralement le volume des différentes galeries d'accès et des recoupes.

Nota : mise en place d'une plaque de protection au niveau des têtes d'alvéoles de la zone de stockage HA en prévision d'une éventuelle réversibilité.

4.2.3.3 Étape 3 – Fermeture des galeries de liaison

La réalisation de l'étape 3 de fermeture consiste en la fermeture de la zone de stockage HA. Elle comprend l'arrêt par tronçons successifs de la ventilation des galeries de liaison exploitation et évacuation/secours et des différentes recoupes. Elle comprend leur remblayage ainsi que la réalisation des scellements prévus dans ces ouvrages. Elle s'effectue en zone à « déchet conventionnel ».

Les opérations réalisées en étape 3 sont menées avec une ventilation dédiée de type ventilation travaux, similaire à celle utilisée lors des travaux de construction. Les gaines de ventilation sont installées et démontées au fur et à mesure de l'avancement de la fermeture.

Préalablement au remblayage, les équipements d'exploitation présents dans les ouvrages sont évacués avec des dispositions analogues à celles requises lors de l'étape 2 de fermeture. Après le retrait complet des équipements, les éventuelles cavités laissées en radier sont obturées de manière à limiter les vides.

Dans la même logique que pour le quartier de stockage MA-VL, les galeries de liaison sont fermées par tronçons en commençant par le nord du quartier.

Dans les zones de mise en œuvre de scellement, le radier est enlevé et certaines zones du revêtement sont déposées aux endroits où le noyau gonflant doit être mis en contact avec les argilites du Callovo-Oxfordien (cf. Figure 4-10).

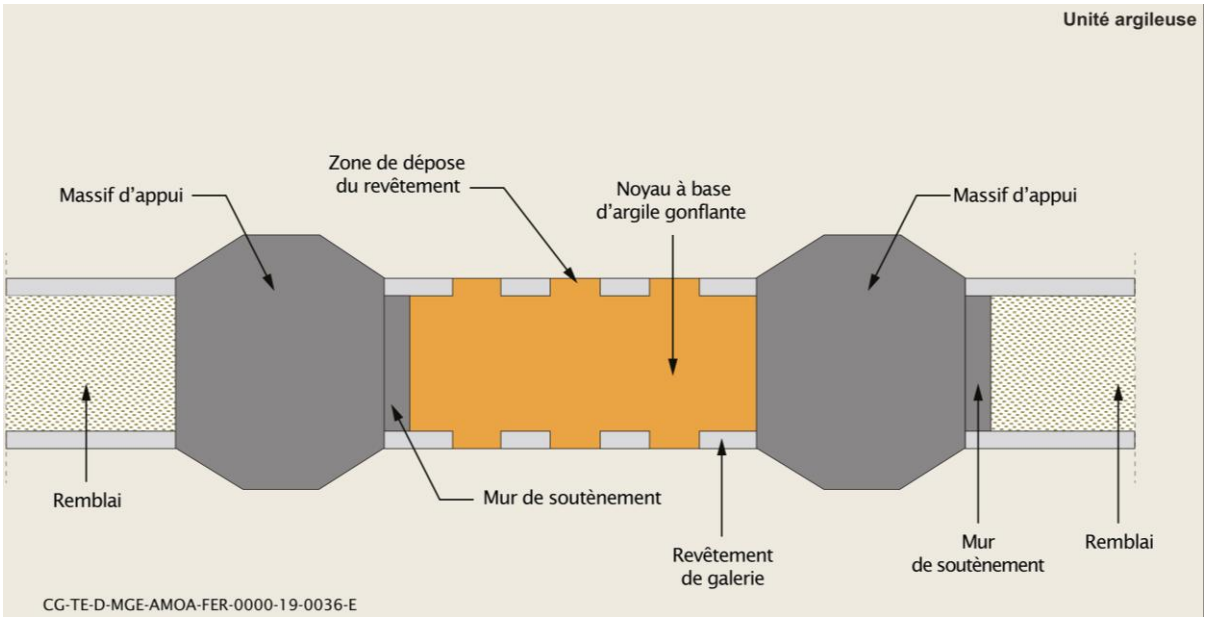


Figure 4-10 Schéma de principe d'un scellement de galerie de référence

Les scellements de la zone de stockage HA (cf. Figure 4-11) sont construits au fur et à mesure des opérations de remblayage. Le remblayage, effectué selon le séquencement de la figure 4-12, est réalisé à base d'un matériau composé d'argilites issues des déblais de creusement additionné le cas échéant de matériaux destinés à en ajuster les propriétés, faciliter la fabrication ou la mise en place (*dito* étape 2).

De manière globale, l'étape 3 concerne les galeries de liaison et leurs recoupes jusqu'à leur dernier scellement (inclus) avant les zones de soutien logistique.

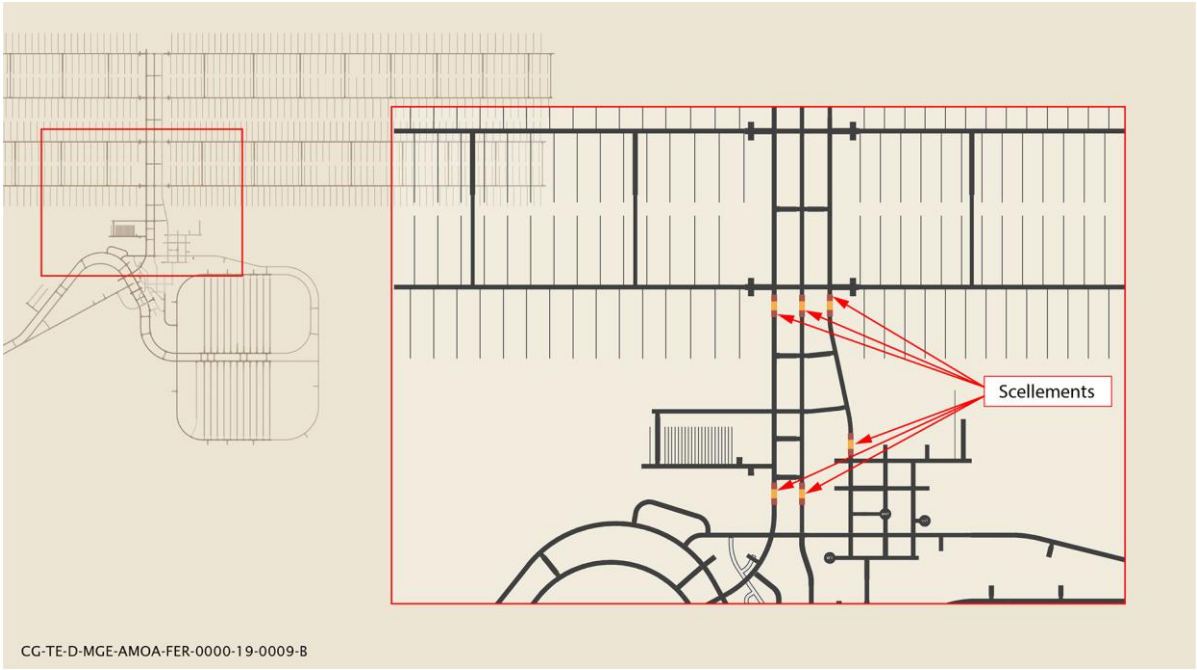


Figure 4-11 *Scellements en zone de stockage HA*

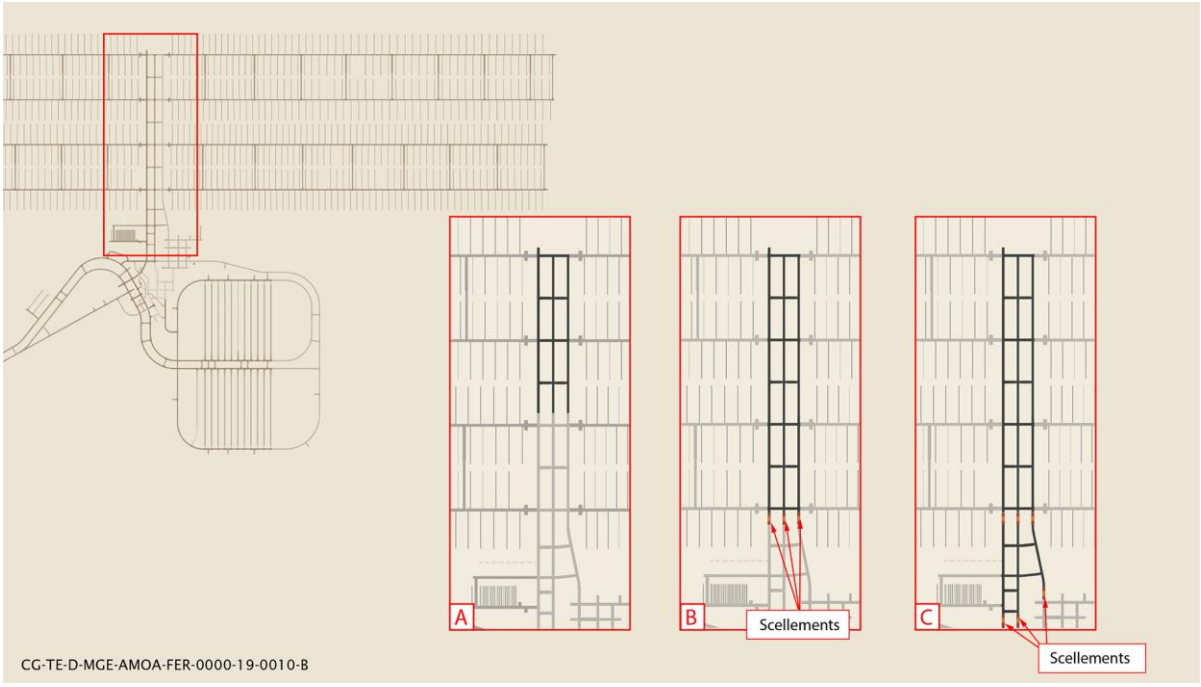


Figure 4-12 *Fermeture Étape 4 – Séquencement de la fermeture de la zone de stockage HA*

Synthèse des opérations de fermeture des galeries de liaison de la zone de stockage HA :

- démantèlement de l'ensemble des équipements présents dans les galeries de liaison ;
- mise en œuvre d'un remblai composé à base d'argilites issues des verses vives additionné le cas échéant de matériaux destinés à en ajuster les propriétés, faciliter la fabrication ou la mise en place pour remplir intégralement le volume des différentes galeries de liaison ;
- mise en œuvre des scellements des galeries de liaison.

4.3 Zones de soutien logistique

Lorsque toutes les galeries du quartier de stockage MA-VL et de la zone de stockage HA sont comblées et les différents scellements réalisés, les zones de soutien logistique exploitation et travaux sont intégralement remblayées dans le cadre de la fermeture. Les plénums de ventilation destinés aux transferts de l'air entrant et sortant en zone exploitation sont également remblayés.

Le remblayage est réalisé selon des techniques analogues à celles utilisées pour le remblayage des galeries des différentes zones de stockage et avec des matériaux identiques. Avant de remblayer ces galeries, les éventuelles cavités laissées en radier sont obturées de manière à limiter les vides.

4.4 Liaisons surface-fond

L'ensemble des étapes de fermeture des liaisons surface-fond commence à la fin de l'exploitation et en parallèle de la fermeture des zones de soutien logistique. De ce fait, il n'y a pas de contrainte de flux liée à la coactivité avec les activités d'exploitation en particulier de mise en stockage, ce qui offre une plus grande souplesse pour l'approvisionnement en matériaux et fournitures affectés aux travaux de fermeture.

Les descenderies et les puits sont fermés par des scellements à base d'argile gonflante (bentonite additionnée le cas échéant de matériaux destinés à en ajuster les propriétés, faciliter sa fabrication ou sa mise en place), placés dans la partie supérieure du Callovo-Oxfordien lors de la fermeture du stockage. Le scellement est mis en place au droit de la zone disponible de l'unité géologique la plus carbonatée, dite Unité silto-carbonatée (USC) et de l'Unité de transition (UT) (cf. Figure 4-13 et figure 4-14).

Pour assurer un contact direct entre l'argile gonflante du noyau et les argilites, les revêtements des puits et des descenderies sont déposés au moment de la mise en place du noyau de scellement, sans préjudice de la nécessité de maintenir en place des anneaux porteurs de part en part pour assurer la stabilité de la zone. Après dépose du revêtement, la surface d'argilites qui apparaîtrait fracturée ou altérée est purgée.

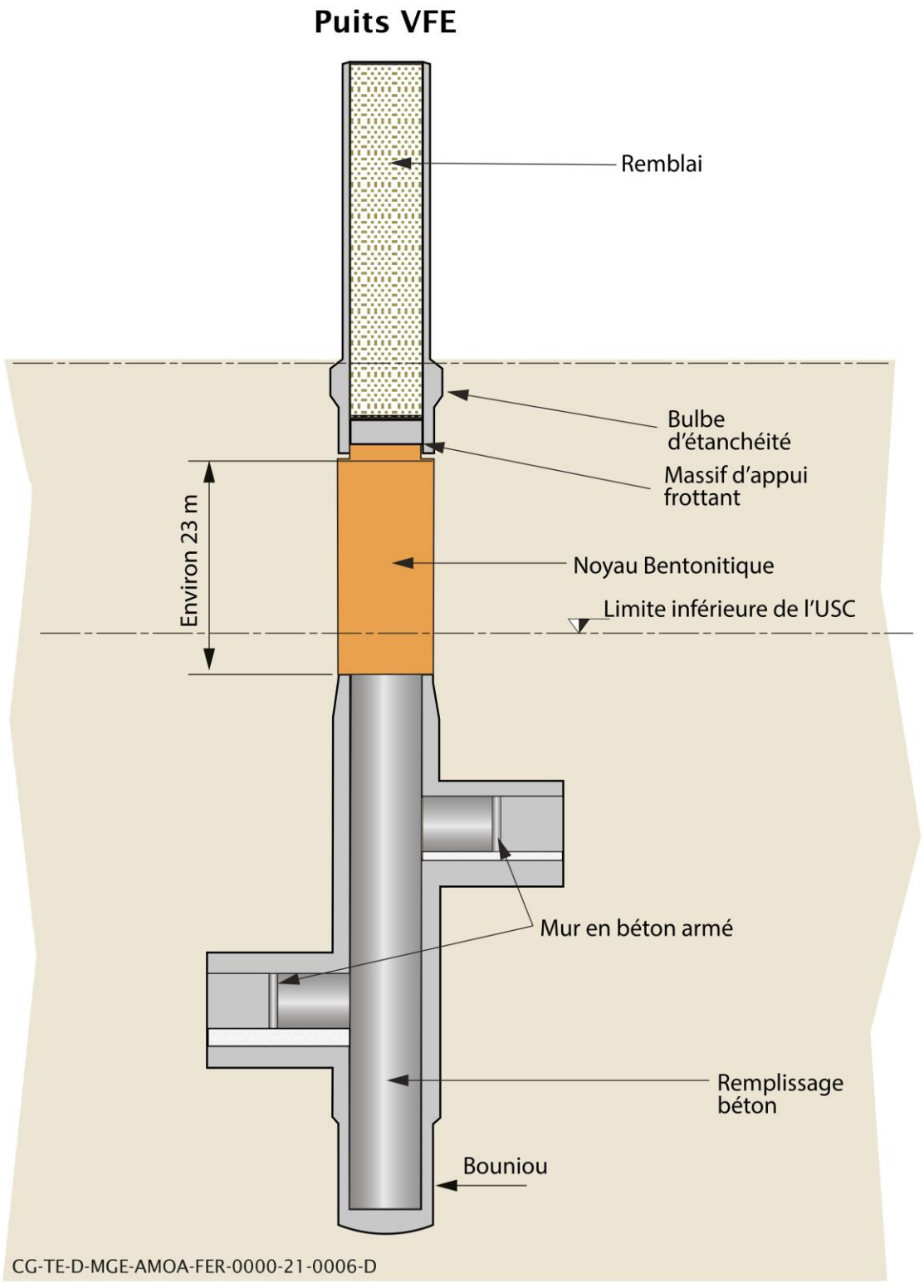


Figure 4-13 Schéma de principe d'un scellement d'un puits

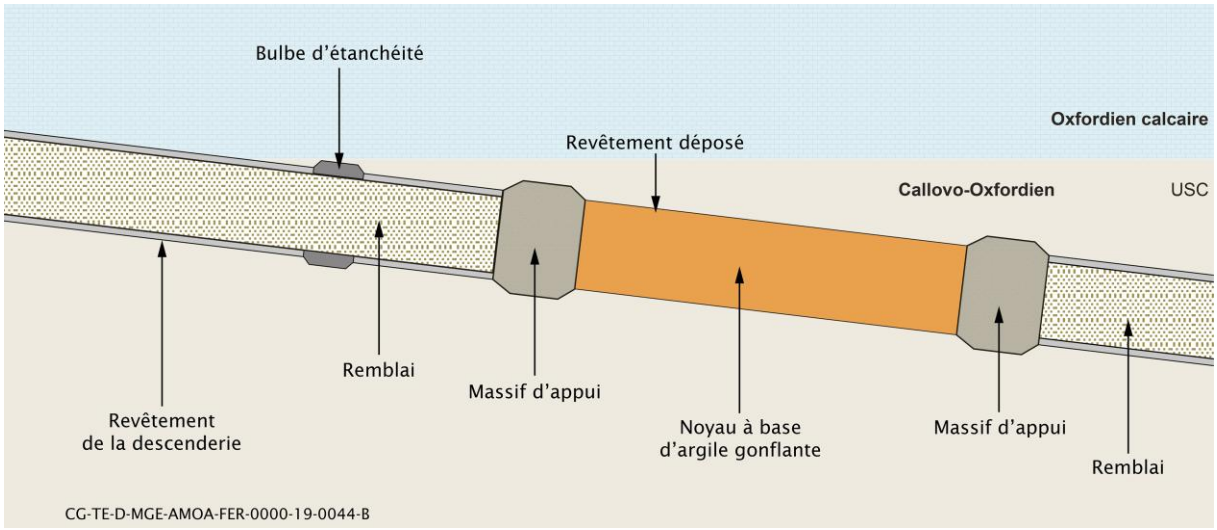


Figure 4-14 Schéma de principe de scellement en descenderie

Le confinement mécanique du noyau gonflant permet de garantir la pérennité des performances hydrauliques et de stabilité hydromécanique du noyau :

- en puits, il s'agit de massifs de béton coulés sur toute la hauteur sous-jacente du noyau d'argile gonflante et, sur la partie supérieure, massifs d'appui en béton frottant maintenu en place gravitairement par la pression du remblai sus-jacent ;
- en descenderie, il s'agit de massifs de béton ancrés dans les argilites.

Concernant le forage d'utilité (colonne à carburant), celui-ci respecte vis-à-vis de sa fermeture les mêmes exigences que pour les puits dont la faisabilité de mise en place d'un scellement. La fermeture de ce forage, correspond à une opération courante dans le domaine pétrolier et le principe retenu pour le sceller est de s'appuyer sur ces technologies disposant de retour d'expérience important.

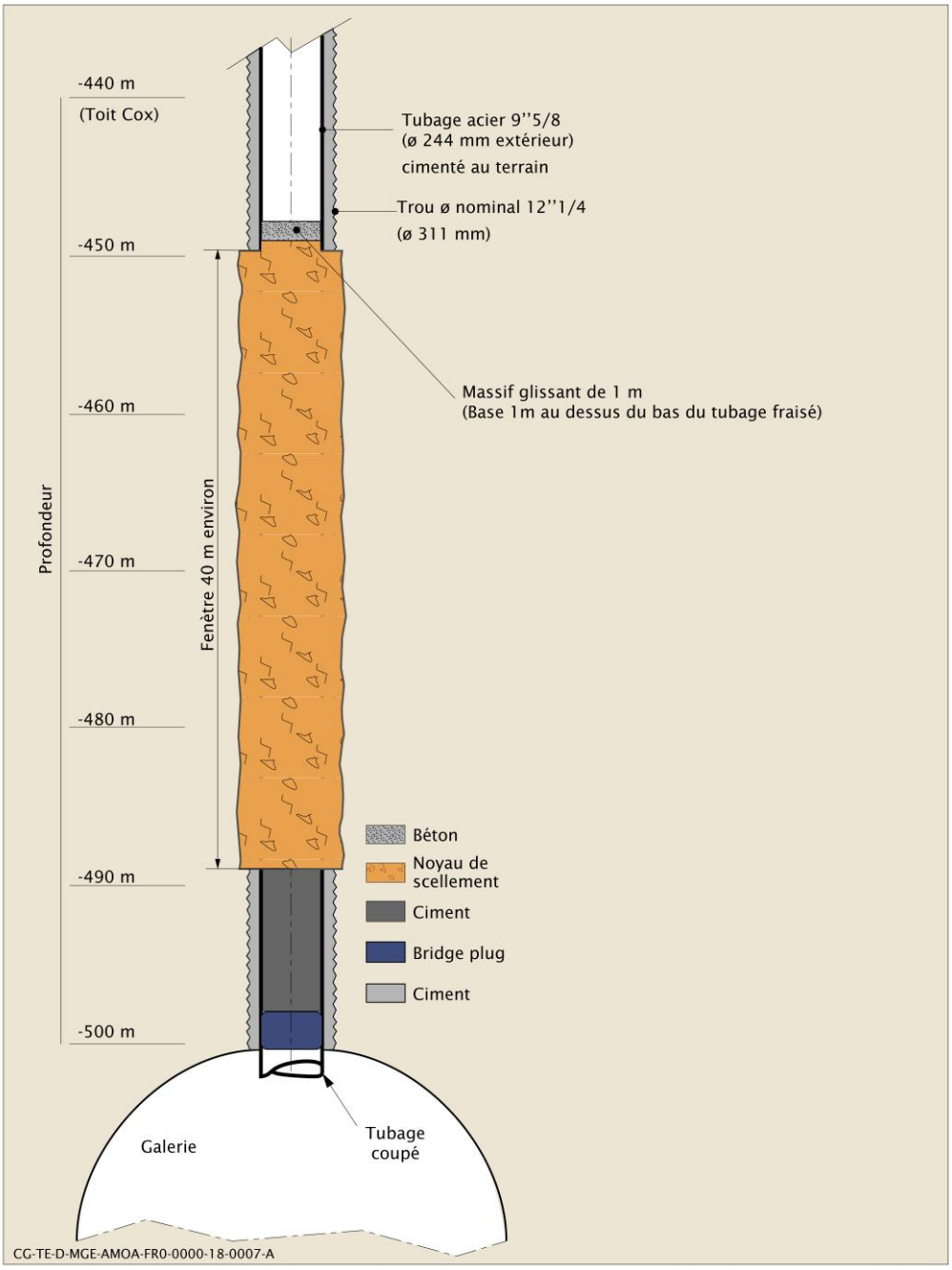


Figure 4-15 Schéma de principe de scellement de la colonne à carburant

En dehors de leurs scellements, les liaisons surface-fond sont intégralement remblayées. Le remblai est mis en place et compacté afin d'obtenir une compressibilité la plus faible possible pour minimiser les vides.

Le dispositif de fermeture des liaisons surface-fond est complété par la construction d'ouvrages de fermeture en partie supérieure du Kimméridgien, pour limiter la circulation d'eau entre les différents niveaux transmissifs de l'Oxfordien calcaire et du Tithonien (calcaires du Barrois) et éviter la mise en communication des différents aquifères, conformément au code de l'environnement.

5

Le déroulement du démantèlement des installations de surface

5.1 Opérations préparatoires et état initial visé au début des opérations de démantèlement 54
5.2 Définition des étapes du démantèlement 54

5.1 Opérations préparatoires et état initial visé au début des opérations de démantèlement

Les opérations de démantèlement ne pourront être réalisées qu'après l'obtention du décret d'autorisation de démantèlement (cf. Figure 2-1). La réalisation des premières opérations de démantèlement des installations de surface, dites « opérations préparatoires au démantèlement », peut être toutefois anticipée par rapport à la délivrance du décret et être achevées après son entrée en vigueur.

Ainsi, lors de la phase de fonctionnement et pour chaque partie d'installation, les opérations préparatoires au démantèlement comprennent :

- les dernières opérations ayant trait au fonctionnement de l'installation : opérations de vidange des équipements contenant des effluents liquides radioactifs et évacuation des déchets d'exploitation présents dans l'installation par exemple ;
- la caractérisation de l'installation : consolidation de l'inventaire radiologique stocké et mise à jour du zonage déchets ;
- la préparation des opérations de démantèlement : aménagement de locaux, préparation de chantiers, formation des équipes, installation d'équipements nécessaires au démantèlement.

5.2 Définition des étapes du démantèlement

5.2.1 Scénario de démantèlement

Dès la fin de l'exploitation du quartier de stockage MA-VL, le bâtiment nucléaire de surface EP1 (y compris ET-H) fait l'objet d'une étape de démantèlement en application de l'article L. 593-25 du code de l'environnement. Le bâtiment nucléaire de surface EP2 est démantelé à la fin de l'exploitation du quartier de stockage HA. Après démarrage du démantèlement de l'EP1, la récupérabilité des colis MA-VL n'est pas prévue *via* le bâtiment EP2 et pourrait, si la décision de retirer les colis de déchets MA-VL arrivait après le démantèlement de EP1, nécessiter la construction d'un bâtiment spécifique.

Dans un premier temps, le zonage de déchets du bâtiment EP1 est mis à jour[7] afin de redéfinir la limite entre zones à production possible de déchets nucléaires et zones à déchets conventionnels. L'élaboration de ce zonage est basée sur les données de conception de l'installation et sur l'historique de son exploitation. Afin d'optimiser la gestion des déchets, un zonage « au plus près » des équipements ou des parties potentiellement contaminées est défini dès la conception, mis à jour lors de l'exploitation et à l'issue de l'exploitation du bâtiment.

Cette démarche permet l'évacuation des déchets conventionnels (après contrôle de l'absence de contamination et d'activation) afin de mettre en place des ateliers de découpe et de décontamination. De même, les équipements existants dans les zones à déchets conventionnels, à l'exception de ceux utilisés pour l'étape de démantèlement (ponts roulants par exemple), sont démantelés. Dans ces zones où le risque de contamination est plus faible que dans le reste de l'installation, la procédure de démantèlement est mise au point et testée. L'objectif étant de déclasser ces zones.

Le bâtiment nucléaire de surface EP1 dispose d'une zone de gestion de déchets d'exploitation. Cette zone sera utilisée lors de l'étape de démantèlement de l'installation. Ainsi, cette zone sera démantelée à la suite du démantèlement des zones de process.

[7] Le zonage déchets est tenu à jour durant toute la vie du bâtiment

L'étape dite de démantèlement concerne les travaux de démantèlement et d'assainissement. Les principales étapes envisagées sont les suivantes :

- l'aménagement des différents chantiers ;
- le démantèlement des équipements ;
- l'assainissement éventuel du génie civil.

Ces opérations sont réalisées par partie d'installation et se concluent par un déclassement des locaux en zone non réglementée avec un zonage à déchets conventionnels.

L'étape de démantèlement est suivie de la déconstruction du génie civil.

5.2.2 Aménagement de chantier

L'aménagement de chantier consiste à préparer, dans les bâtiments concernés par le démantèlement, tous les moyens et équipements nécessaires à la réalisation des travaux.

Durant cette étape, les installations temporaires, telles qu'une ventilation de chantier et des dispositifs de décontamination, peuvent être mises en place. Les installations nécessaires aux opérations supports, tels que l'entreposage, la caractérisation radiologique et le conditionnement des déchets générés, sont également mises en place lors de cette étape.

5.2.3 Démantèlement des équipements

L'ensemble des équipements est évacué des bâtiments nucléaires de surface. Le démantèlement des équipements comprend deux étapes : la décontamination et la découpe de l'équipement.

En fonction de la caractérisation radiologique de chaque zone de travaux de démantèlement d'équipements, différentes protections sont mises en place :

- zones avec une contamination et un débit de dose faible (zone 1) : les règles classiques de sûreté nucléaire sont prises en compte et, pour cela, l'utilisation de techniques dites conventionnelles/industrielles est privilégiée ;
- zones avec un débit de dose faible mais une contamination plus importante (zone 2) : des protections individuelles sont envisagées pour chaque opérateur ;
- zones avec un débit de dose important (zone 3) : mise en place d'écrans envisagée, avec utilisation d'appareils téléopérés.

5.2.3.1 Décontamination

Dans le cas d'une contamination labile des équipements, la décontamination peut être réalisée par frottis avec des lingettes humides (solution alcaline ou acide). L'utilisation d'autres techniques telles que le jet d'eau pressurisé (à haute pression ou très haute pression) ou de mousse, au cas par cas, est justifiée au préalable car ces dernières produisent des effluents liquides radioactifs dont il faut assurer la gestion.

Le choix de la technique de décontamination dépend de la dimension de l'équipement à décontaminer. En effet, la décontamination par frottis est adaptée à la décontamination de composants de petite taille et ne présentant pas de singularités. La décontamination par jet d'eau pressurisé permet un gain de temps et une meilleure efficience pour la décontamination d'équipements plus importants.

Les meilleures techniques du moment pour la mise en œuvre du processus de décontamination seront utilisées au regard de l'ensemble des critères (protection des intérêts, faisabilité, etc.).

5.2.3.2 Découpe

Les équipements sont en général découpés afin d'en faciliter le transport et le stockage.

La découpe peut se faire avec des outils mécaniques (cisailles, scies à ruban, scies à disques, etc.) ou avec des outils thermiques (découpe au chalumeau pour les pièces épaisses >60 mm, découpe par arc plasma).

5.2.4 Assainissement du génie civil

Certaines parties des structures en béton des bâtiments pourraient comprendre des zones où le béton est activé. Il est alors nécessaire d'éliminer ces zones par des techniques d'assainissement qui consistent à décaper le béton sur l'épaisseur de pénétration de ce phénomène.

Les objectifs des opérations d'assainissement, pour chaque partie, sont l'assainissement final du périmètre concerné en vue du déclassement des locaux en zone non réglementée avec un zonage à déchets conventionnels et l'évacuation des déchets produits au cours des opérations d'assainissement.

Concernant les installations de l'INB Cigéo, il n'est pas attendu d'activation des structures.

5.2.5 Démolition des bâtiments

Une fois le déclassement de l'installation nucléaire accepté par les autorités, les bâtiments pourront être démolis.

Les meilleures techniques disponibles du moment seront utilisées lors de la mise en œuvre de la démolition des bâtiments.

Plusieurs méthodes de démolition existent à ce stade. Concernant les bâtiments et ouvrages de surface, la méthode privilégiée est la démolition par moyens mécaniques. Des pelles mécaniques de capacité suffisante (en termes charge et de hauteur utile) sont alors utilisées. Ces pelles mécaniques sont couplées à :

- des brises roches hydrauliques (BRH) destinés à la démolition des éléments d'épaisseur importante comme les radiers et dalles épaisses ;
- des cisailles à béton permettant de découper les armatures en acier ;
- des crocs à béton ou grappins hydrauliques qui permettent de séparer les armatures du béton.

Après démolition des bâtiments et ouvrages, les opérations consistent essentiellement en un concassage des blocs de béton armé. Les armatures sont alors séparées du béton en vue du recyclage de ces matériaux. Ceux-ci peuvent en effet être revalorisés sur le marché ou utilisés comme matériaux de remblayage dans le cas des gravats.

6

L'état final envisagé

6.1	Présentation et justification de l'état final envisagé	58
6.2	Prévisions d'aménagement	60
6.3	Phase de surveillance	60
6.4	Phase de post-surveillance	63

6.1 Présentation et justification de l'état final envisagé

Pour répondre à l'objectif fondamental de protéger l'homme et l'environnement des déchets radioactifs sur de très longues échelles de temps de manière passive sans nécessiter d'actions humaines, une fois l'installation souterraine ayant eu l'autorisation d'être fermée définitivement, l'ensemble de l'installation souterraine aura été remblayé, les ouvrages de fermeture auront été mis en place dans les galeries et dans les ouvrages de liaison surface-fond et les installations de surface auront été démantelées. La protection de l'homme et de l'environnement à long terme repose sur la couche du Callovo-Oxfordien, qui joue un rôle central de cette protection, complétée par notamment des dispositifs ouvragés tels que des scellements, des liaisons surface-fond qui permettent de fermer l'accès aux ouvrages souterrains. L'installation souterraine et la couche du Callovo-Oxfordien constituent le système de stockage en phase après-fermeture.

« L'état final » correspond à l'état du site après la loi entérinant la fermeture définitive du site et l'obtention de la décision de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection autorisant la fermeture et le passage en phase de surveillance du stockage, et donc au t0 de la phase de surveillance.

Le système de stockage au début de la phase de surveillance comprend alors trois grandes catégories de composants :

- la couche de Callovo-Oxfordien, formation hôte dans laquelle est implantée l'installation souterraine qui joue un rôle central ;
- les colis de déchets stockés ;
- les ouvrages de fermeture de l'installation souterraine qui sont de deux types :
  - ✓ des « scellements » qui correspondent à des ouvrages de faible perméabilité implantés de manière locale dans des galeries et les liaisons surface-fond. Ces scellements ont comme objectif de s'opposer à la circulation d'eau dans le stockage pour éviter qu'elle ne constitue un facteur d'altération des déchets et un vecteur de migration des radionucléides ;
  - ✓ des remblais qui ont pour but de limiter les déformations à long terme de la couche du Callovo-Oxfordien, composant central de la sûreté long terme après fermeture et ainsi de préserver ses caractéristiques.

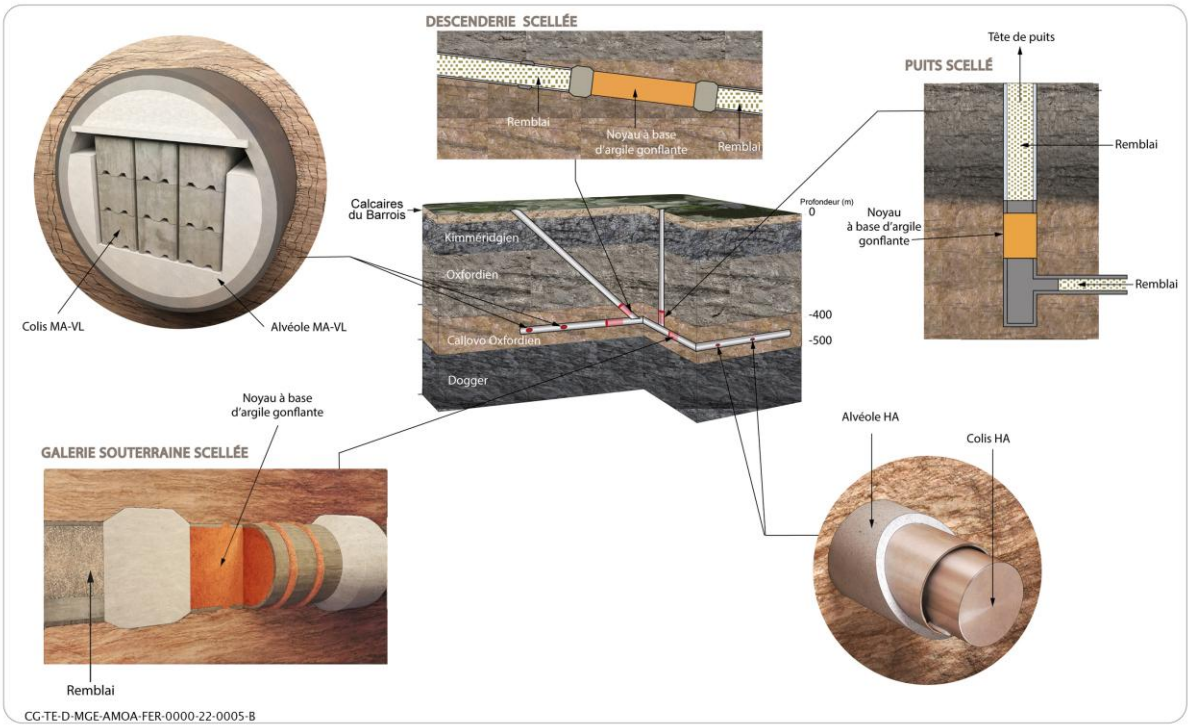


Figure 6-1 Schéma de principe de l'état final envisagé

Les zones d'implantation des installations de surface auront été contrôlées et l'environnement du site aura été réhabilité (évacuation ou élimination des substances dangereuses et des matériaux polluants, nettoyage des sols et des eaux superficielles éventuellement polluées et insertion du site de l'installation dans son environnement) conformément aux réglementations en vigueur et à l'utilisation ultérieure du site.

Un certain nombre de bâtiments seront alors conservés afin de permettre les actions envisagées sur le site au cours de la phase de surveillance (par exemple un bâtiment administratif, un bâtiment d'analyse pour la surveillance de l'environnement, etc.).

Lors de la phase de surveillance, il y aura une diminution progressive des activités et ainsi un démantèlement progressif des installations maintenues sur le site. Lors du passage en phase de post-surveillance, l'ensemble des installations restantes seront démantelées et il n'y aura plus d'activité sur le site : le système stockage évoluera de façon totalement passive.

L'installation souterraine après la fermeture définitive (sous réserve de son autorisation par une loi) sera l'installation telle que construite à la fin de la phase de fonctionnement, remblayée et scellée après que les ouvrages/installations et équipements non nécessaires aient été déconstruits et démantelés.

L'évaluation de la sûreté en phase long terme après fermeture se fonde au stade de la phase de conception initiale sur une projection en fin de phase de fonctionnement de la conception de l'installation souterraine retenue à ce stade avec des options techniques retenues également à ce stade pour les ouvrages de fermeture dont les scellements. Ces choix pourront être enrichis des avancées scientifiques et technologiques et des optimisations et améliorations au regard notamment du retour d'expérience (construction des premiers alvéoles, surveillance) au fur et à mesure du développement progressif de l'installation souterraine (cf. « Pièce 8 – Étude de maîtrise des risques » (13)) .

6.2 Prévisions d'aménagement

6.2.1 Les bâtiments

Dans les premières années après le passage en phase de surveillance, il est proposé de maintenir un bâtiment sur les deux sites afin de pouvoir réaliser les différentes activités conservées au cours de cette phase (l'accueil du public, les activités liées à la mémoire, la sécurité, la maintenance et l'entretien du site, la surveillance de l'environnement, etc.). Cette proposition peut par la suite évoluer vers le regroupement de l'ensemble des activités sur un seul site.

Les clôtures seront adaptées (nature, tracé, etc.) au périmètre de l'installation retenu au moment de son passage en phase de surveillance.

6.2.2 Les verses

Après les opérations de fermeture, les verses restantes sont plantées durablement. Il pourra être envisagé de ne plus intervenir sur le site des verses hormis pour de l'observation, du suivi, etc., et de l'entretien forestier courant (à déterminer avec les territoires si nécessaire) et de laisser ce paysage forestier évoluer seul, pendant la phase de surveillance.

6.3 Phase de surveillance

En préambule, il est rappelé pour mémoire que les caractéristiques favorables de la couche du Callovo-Oxfordien, composant central pour la sûreté passive après fermeture, limitent fortement la migration des radionucléides et substances toxiques chimiques vers la biosphère. Notamment, les faibles coefficients de diffusion conduisent à des temps caractéristiques de transfert diffusif supérieurs à 100 000 ans pour un soluté sans rétention. Par ces caractéristiques favorables de la couche de Callovo-Oxfordien, il n'est pas escompté que ces radionucléides et substances toxiques chimiques puissent atteindre l'environnement avant plusieurs dizaines de milliers d'années, et aucun effet sur la santé ou l'environnement n'est attendu.

En lien avec l'objectif fondamental de protection de l'homme et de l'environnement, et en s'appuyant sur les caractéristiques favorables de la couche du Callovo-Oxfordien, les activités de surveillance une fois l'installation souterraine fermée et scellée, visent à vérifier l'absence de contamination de l'environnement et ainsi le respect des exigences réglementaires de protection des intérêts.

Selon la stratégie de surveillance de l'INB Cigéo retenue par l'Andra en lien avec ses spécificités, des dispositions de surveillance sont mises en place dès la construction initiale de manière à vérifier la préservation de la couche du Callovo-Oxfordien afin qu'elle puisse jouer pleinement son rôle central et sans intervention vis-à-vis de la protection à long terme de l'homme et de l'environnement.

Plusieurs pistes sont à ce stade envisagées :

- des techniques non intrusives en surface en s'appuyant sur la surveillance des eaux superficielles (cf. Chapitre 6.3.1.1 du présent document), de l'atmosphère (cf. Chapitre 6.3.1.2 du présent document) et des verses (cf. Chapitre 6.3.1.3 du présent document) ;
- des mesures dans des forages instrumentés réalisés depuis la surface jusqu'à l'Oxfordien calcaire, formation encaissante située au-dessus du Callovo-Oxfordien (eaux souterraines – cf. Chapitre 6.3.2.2 du présent document) ;
- des dispositifs déjà mis en place avant la fermeture définitive et maintenus si besoin après fermeture. Ils peuvent correspondre à des mesures issues d'instruments laissés au fond pour suivre par exemple l'évolution du comportement de certains ouvrages (ouvrages de fermeture des liaisons surface-fond) (cf. Chapitre 6.3.3 du présent document).

Les modalités de mise en œuvre de la surveillance sont adaptées et privilégient :

- la prise en compte des « bonnes pratiques » mises en place dans des contextes similaires. Ceci se traduit par la favorisation de modalités de surveillance simples, éprouvées et durables ;
- la limitation de dispositifs de surveillance intrusifs pour préserver les caractéristiques favorables du Callovo-Oxfordien vis-à-vis de la sûreté après-fermeture.

Les moyens et dispositions qui sont mis en œuvre pour la surveillance après fermeture se fondent notamment sur les acquis de connaissances des Centres de stockage de la Manche et de l'Aube, et également dans le cadre de la démarche de développement progressif, sur le retour d'expérience acquis à la suite de la fermeture d'ouvrages (par exemple le laboratoire de recherche souterrain du lac du Bonnet au Canada (Dixon *et al.,* 2017 (14)).

Les modalités de mise en œuvre des dispositions de surveillance pendant la phase de surveillance après fermeture (nature des mesures, dispositifs, etc.) seront précisées dans le cadre de la loi entérinant sa fermeture.

6.3.1 Surveillance de l'environnement

En l'état actuel des connaissances du comportement du stockage après sa fermeture, il n'est pas attendu de rejet de radionucléides et substances toxiques chimiques susceptibles de porter, même de façon minime, atteinte à l'environnement ou à la santé des futures générations, que ce soit sous forme de soluté ou sous forme gazeuse, dans l'environnement. La surveillance de l'environnement consiste alors à vérifier l'absence de contamination en s'appuyant sur la surveillance de la qualité des eaux superficielles et de la qualité de l'air.

D'une façon générale, la surveillance de l'environnement au cours de la phase de surveillance s'inscrit dans la continuité de la surveillance de l'environnement mise en place au cours du fonctionnement de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Son ampleur sera adaptée à cette phase en intégrant l'ensemble des réglementations qui seront alors en vigueur.

6.3.1.1 Surveillance de la qualité des eaux superficielles (ruisseaux, rivières, etc.) et des eaux des Calcaires du Barrois

Dans la continuité de ce qui est fait pendant la phase de fonctionnement, la surveillance de l'environnement pendant la phase de surveillance consiste également en la vérification de la qualité des eaux superficielles dans l'environnement du site du centre de stockage Cigéo avec, par exemple, la vérification de l'absence de contamination des cours d'eau dans l'environnement du site et des eaux des Calcaires du Barrois, au regard de la réglementation en vigueur lors du décret du passage en phase de surveillance.

6.3.1.2 Surveillance de la qualité de l'air

Après la fermeture de l'installation souterraine, il n'est pas attendu de rejet de radionucléide gazeux ce qui conduit à ne pas envisager de dispositif de surveillance particulier. Cependant, le cas échéant, dans la continuité de ce qui est fait pendant la phase de fonctionnement, la station météo déjà présente sur le site peut être maintenue pour suivre pendant la phase de surveillance les caractéristiques de l'air à la suite du démantèlement.

Une surveillance de l'absence de pollution radioactive par émission de gaz provenant du stockage est maintenue si nécessaire, par exemple, par la vérification de l'absence de contamination dans l'environnement du site au regard de la réglementation en vigueur lors du décret du passage en phase de surveillance, bien qu'après la fermeture du stockage il ne soit pas attendu de rejet de radionucléide gazeux.

6.3.1.3 Surveillance de l'évolution des verses

Ainsi qu'indiqué ci-avant (cf. Chapitre 6.2.2, du présent document), une surveillance des verses mortes (volumes d'argilites du Callovo-Oxfordien excavées qui ne sont pas réutilisées pour remblayer l'installation souterraine ni valorisées dans d'autres filières) mise en place dès la construction initiale pourra être maintenue, en particulier lors des premières années de la phase de surveillance, par exemple par le suivi de leur évolution topographique ainsi que celui de la composition de leurs eaux de ruissellement.

6.3.2 Surveillance du milieu géologique

6.3.2.1 Surveillance de la qualité des eaux souterraines dans les formations encaissantes du Callovo-Oxfordien

Compte tenu de la conception de l'installation de stockage en formation géologique profonde et des caractéristiques favorables de la couche du Callovo-Oxfordien, il n'est attendu aucun impact mesurable sur les aquifères profonds du stockage après sa fermeture avant des milliers d'années. Ainsi, la surveillance ne pourra consister qu'en la vérification de l'absence de pollution radioactive ou chimique dans les aquifères des formations encaissantes au Callovo-Oxfordien en provenance du stockage.

À très long terme, les aquifères de l'Oxfordien calcaire et du Dogger peuvent constituer des voies de transfert potentielles des radionucléides et substances toxiques chimiques vers les exutoires lorsque ceux-ci auront traversé le Callovo-Oxfordien. Les temps de transfert jusqu'au toit du Callovo-Oxfordien, sont, de manière générale, supérieurs à 100 000 ans lorsque les radionucléides empruntent la voie de transfert par le Callovo-Oxfordien (voie dominante de transfert).

La surveillance radiologique et physico-chimique des eaux souterraines vise ainsi à confirmer l'absence de contamination des aquifères de l'Oxfordien et du Dogger pendant la phase de surveillance, par exemple.

Cette surveillance radiologique et physico-chimique des eaux souterraines peut être effectuée au moyen de forages instrumentés qui interceptent les aquifères de l'Oxfordien. Les forages instrumentés permettent de prélever des échantillons d'eau à des fins d'analyses radiologiques et physico-chimiques. Les forages de surveillance de ces aquifères mis en place pour les phases antérieures peuvent être utilisés si leur état le permet, si cela se révèle nécessaire et si leur éventuelle réalisation ne vient pas compromettre la robustesse des lignes de défense établies pour l'INB Cigéo et le milieu naturel.

6.3.2.2 Surveillance de l'évolution hydraulique des formations encaissantes du Callovo-Oxfordien

Les formations encaissantes au Callovo-Oxfordien n'ont pas de fonction de sûreté. Toutefois, selon le guide de sûreté n° 1 de l'ASN (15), il faut préserver leurs caractéristiques naturelles. La surveillance des formations géologiques encaissantes au Callovo-Oxfordien et, en particulier celle de l'Oxfordien calcaire, consiste principalement en la surveillance de l'impact de l'installation nucléaire Cigéo sur leur hydrologie.

De même que pour la surveillance de la qualité des eaux, les ouvrages de surveillance des formations encaissantes mis en place au cours des phases antérieures peuvent permettre de suivre par exemple la résorption de la perturbation hydraulique engendrée par l'installation, notamment s'il y a eu rabattement au niveau des ouvrages de liaison surface-fond (par exemple : Mesure de la charge hydraulique).

6.3.3 Surveillance du comportement de l'installation pendant la phase de surveillance

6.3.3.1 La maintenance des bâtiments de surface

Il s'agira au cours de cette phase de surveillance de maintenir l'ensemble des activités et donc des bâtiments laissés en place dans des conditions opérationnelles (MCO).

6.3.3.2 La surveillance de l'installation souterraine

La surveillance du comportement de l'installation souterraine fermée permet de vérifier, en support à la démonstration de sûreté, le bon fonctionnement du stockage et en particulier qu'il fonctionne de manière passive et en conformité avec sa conception (16).

Même si la fermeture rend difficile l'observation directe du stockage, quelques dispositifs d'observation peuvent être mis en place, principalement pour suivre de manière non intrusive le comportement mécanique et hydraulique des ouvrages de fermeture des puits et des descenderies :

- situés à proximité de ces ouvrages permettant de suivre, par exemple, le tassement en surface des ouvrages de fermeture des ouvrages de liaisons surface-fond à l'échelle pluri-centennale ;
- situés à distance du stockage, comme, par exemple des moyens de mesures géophysiques de surface, des moyens de mesures de la gravimétrie, des instruments laissés au fond ou en forage, etc., selon les développements technologiques réalisés d'ici là.

En tout état de cause, les modalités de mise en œuvre de la surveillance prendront en compte les développements technologiques réalisés dans ce domaine au cours du prochain siècle.

La surveillance du comportement des ouvrages de fermeture s'appuie également sur le retour d'expérience acquis (fermeture d'ouvrages similaires (mines, Laboratoires souterrains (dont le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse Haute/Marne) le moment venu, etc.).

6.4 Phase de post-surveillance

La phase de post-surveillance débute après la décision de déclassement de l'installation. Par définition cette phase n'a pas de fin. Elle correspond à la perspective temporelle visée par l'objectif de mise en sécurité définitive des déchets radioactifs fixé par le code de l'environnement.

Conformément au guide de sûreté n° 1 relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde (15), la protection de la santé des personnes et de l'environnement constitue l'objectif fondamental de sûreté assigné au stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde.

Comme indiqué en chapitre 6.1 du présent document, l'installation souterraine est conçue pour que la sûreté puisse être garantie de façon totalement passive pendant cette phase sur le long terme, sans intervention humaine c'est-à-dire que l'homme et l'environnement sont protégés des éléments radioactifs et des substances chimiques toxiques contenus dans les déchets radioactifs, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir. Ainsi, le passage en phase de post-surveillance par décret se traduit par l'arrêt de la phase de surveillance.

La protection de l'homme et de l'environnement à long terme repose principalement sur la couche du Callovo-Oxfordien, qui joue un rôle central de cette protection, complétée notamment par des dispositifs ouvragés comme les ouvrages de fermeture des liaisons surface-fond (puits et descenderies).

7

Maintien de la mémoire

7.1	La mémoire des installations de stockage de déchets radioactifs	66
7.2	Principes de la démarche mémorielle poursuivie par l'Andra pour ses installations de stockage	67
7.3	Le panorama à l'international	67
7.4	Les objectifs associés à la mémoire du stockage en couche géologique profonde	68
7.5	Les dispositifs mémoriels	69

7.1 La mémoire des installations de stockage de déchets radioactifs

7.1.1 Définition de la « mémoire » appliquée à une installation consacrée au stockage

Le terme « mémoire » est polysémique. Il recouvre des réalités diverses à l'échelle de l'individu, comme à l'échelle collective.

Pour ce qui concerne une installation de stockage de déchets radioactifs, la mémoire se fonde sur un ensemble de dispositions permettant de maintenir la connaissance de l'existence du stockage, ainsi que de transmettre aux générations successives les informations et données potentiellement utiles pour comprendre l'installation de stockage et alimenter leurs processus de décision. Ces connaissances constituent un patrimoine collectif de ce que notre civilisation a créé.

La démarche mémorielle envisagée pour l'INB Cigéo s'inscrit dans le cadre réglementaire et s'appuie sur l'expérience acquise par l'Andra par la gestion des centres de stockage de surface, en premier lieu le centre de stockage de la Manche (CSM - centre de stockage exploité de 1969 à 1994 actuellement en phase de démantèlement et de fermeture).

7.1.2 Les échelles de temps à considérer pour la mémoire d'un stockage de déchets radioactifs

Selon le groupe d'experts RK&M de l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) (17)[8], la mémoire pour une installation de stockage de déchets radioactifs peut se décliner en trois échelles de temps : le « court terme », le « moyen terme » et le « long terme ».

Le « court terme » se déroule jusqu'à la fermeture du stockage. Dans cette période, de nombreuses décisions sont à prendre, liées à la construction des installations, à la mise en place des colis de déchets dans les installations, aux étapes de fermeture du stockage. Pour prendre les meilleures décisions, il est important de connaître les installations dans le détail, les raisons des choix antérieurs, les résultats des études passées et les événements qui ont marqué le fonctionnement. Le passage de relais entre les professionnels qui se succèdent dans les organisations concernées constitue l'enjeu essentiel. C'est le domaine du management des connaissances qui vise la transmission des connaissances pour éviter leur perte lors du départ de leurs détenteurs. Cette période a une durée d'ordre séculaire.

Le « moyen terme » se déroule à partir de la fermeture du stockage et s'étend aussi longtemps que la société exerce une surveillance « continue et institutionnelle »[9] sur le site. Cette surveillance s'appuiera dans les premiers temps sur la réalisation de mesures physico-chimiques, mais pourra aussi prendre d'autres formes, notamment, le contrôle des activités exercées à l'aplomb des ouvrages de stockage souterrains (par exemple, l'interdiction de forages profonds). Selon le guide de sûreté n° 1 de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) pour le stockage en formation géologique profonde (15), « *la perte de mémoire de l'existence du stockage peut être raisonnablement située au-delà de 500 ans. Cette valeur de 500 ans sera retenue comme date minimale d'occurrence d'une intrusion humaine* ». La surveillance institutionnelle du site est donc envisagée pendant au moins cinq siècles. Sur cette période, les actions et décisions seront limitées (réévaluations de la sûreté, surveillance...). Il faudra néanmoins transmettre les informations qui permettraient, si des actions sur le site étaient décidées, de les mener en bénéficiant des connaissances accumulées, en limitant les risques d'erreurs.

[8] RK&M pour « *Records, Knowledge and Memory* »
[9] Le « moyen terme » correspond à la période d'« *indirect oversight* », telle que définie par la Commission internationale de protection radiologique (ICRP Publication 122 (18)), traduit ici par « surveillance continue et institutionnelle ».

Le « long terme » intervient à partir du moment où la continuité de la surveillance institutionnelle n'est plus assurée. Ceci ne signifie pas pour autant que toute mémoire est perdue. La préservation des données et la conscience de l'existence du stockage dans la mémoire collective peuvent encore être envisagées pendant des millénaires, notamment par passages de relais ininterrompus ou réactivés périodiquement.

7.2 Principes de la démarche mémorielle poursuivie par l'Andra pour ses installations de stockage

La démarche mémorielle pour un stockage de déchets radioactifs s'appuie d'abord sur la constitution et l'organisation des dossiers descriptifs du stockage, prévus à différents niveaux de détail, puis sur leur préservation et leur mise à disposition des générations suivantes. Cette démarche a vocation à être mise en œuvre par l'Andra sur l'ensemble de ses centres de stockage et déclinée en fonction de leurs spécificités.

L'efficacité de la transmission à long terme ne pouvant être démontrée, une stratégie combinée, « systémique » est développée. Elle vise à multiplier les interconnexions entre les différents outils porteurs de la mémoire, afin d'apporter le maximum de robustesse au dispositif.

Les dispositifs mémoriels envisagés par l'Andra pour ses centres de stockage sont basés :

- sur le corpus de dispositions demandées par la réglementation pour les sites de stockage de déchets radioactifs (article R. 593-75 du code de l'environnement) ;
- des interactions sociétales diversifiées ;
- des études et recherches pour éclairer la démarche et constituer progressivement un portefeuille de dispositions qui pourront être mobilisées le moment venu.

L'Andra vise ainsi à multiplier les traces qui porteront le témoignage de l'existence des centres de stockage et de ce fait à mettre en capacité la société de maintenir et de transmettre le plus longtemps possible la conscience de la présence des déchets radioactifs et de l'existence d'informations riches à leur sujet.

Des échanges avec le public et la constitution de « groupes mémoire » permettent de tester la lisibilité et l'intérêt des dispositifs pour un public non averti, tout en soutenant l'ensemble des actions menées pour inscrire les centres de stockage dans la mémoire collective.

7.3 Le panorama à l'international

L'Andra s'assure de la cohérence de sa démarche au regard de ce qui se fait à l'international, au travers de sa participation à des projets internationaux, à des colloques et à des conférences.

L'Andra a participé à l'initiative « *Preservation of Records Knowledge and Memory* (RK&M) *Across Generations* » (19), sous l'égide de l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE). Cette initiative s'est déroulée de 2011 à 2018. L'objectif était de répondre à la demande des pays membres qui souhaitent échanger et réfléchir dans ce domaine, notamment pour formuler des approches communes. Vingt et une organisations de 14 pays ont participé à ces travaux.

Les objectifs de la mémoire ont été largement débattus dans ce cadre. À côté de l'objectif d'éviter une intrusion humaine involontaire, l'objectif de soutenir la capacité des futurs membres de la société à prendre leurs propres décisions éclairées concernant un site de stockage de déchets radioactifs après sa fermeture a émergé comme un objectif majeur, largement partagé par les participants.

Deux stratégies parallèles, complémentaires, ont été identifiées :

- la transmission de proche en proche, dans laquelle le message ou l'enregistrement est transmis d'une génération à l'autre ;
- la transmission sans médiation, dans laquelle le message ou l'enregistrement est conçu pour être accessible directement (et dans son format original) pour le futur destinataire.

Un recensement, à large spectre mais qui ne se veut pas exhaustif, des approches permettant de préserver et transmettre la mémoire a été établi :

- institutions mémorielles (archives, musées, bibliothèques…) ;
- marqueurs (de surface, de subsurface…) ;
- capsules temporelles[10] ;
- cadre réglementaire ;
- mécanismes internationaux (traités, directives, organisations internationales…) ;
- mesures de surveillance ;
- culture, éducation et art ;
- gestion des connaissances (« *knowledge management* ») ;
- dossiers dédiés (ensemble de documents et documents synthétiques).

Enfin, il est à noter qu'un catalogue de la réglementation en lien avec la mémoire des sites de stockage de déchets radioactifs a été établi, qui couvre 12 pays[11]. Tous les pays ont des exigences réglementaires en matière de conservation des documents. Ces exigences sont souvent spécifiques aux documents qui sont requis à « très court terme » à l'appui des procédures d'autorisation, mais elles ne précisent pas les moyens de les préserver à long terme.

7.4 Les objectifs associés à la mémoire du stockage en couche géologique profonde

Pour le stockage en couche géologique profonde, la mémoire répond principalement à deux types d'objectifs :

- des objectifs de sûreté :
  - ✓ pendant la durée séculaire de son fonctionnement et par extension, pendant toute la période où des réexamens périodiques seront menés, s'assurer de la disponibilité des informations nécessaires ;
  - ✓ exclure, jusqu'à 500 ans après la fermeture définitive de l'installation de stockage, période initiale caractérisée par une décroissance importante de l'activité des radionucléides à vie courte ou moyenne contenus dans les déchets (15), une action inopportune qui dégraderait de façon non intentionnelle la performance du stockage, typiquement un forage pénétrant dans la couche du Callovo-Oxfordien et s'approchant des déchets[12] ;

[10] Une capsule temporelle est une œuvre de sauvegarde collective de biens et d'informations, comme témoignage destiné aux générations futures. Les capsules temporelles sont parfois créées puis enterrées lors de cérémonies, par exemple au château d'Osaka, au Japon, lors de l'exposition universelle de 1970. Les vestiges ensevelis de manière involontaire, comme à Pompéi, sont parfois également considérés comme des types de capsules temporelles.

[11] Allemagne, Belgique, Canada, Espagne, États-Unis, France, Japon, Hongrie, Royaume-Uni, Suède, Suisse, Tchéquie

[12] Du fait de l'architecture du stockage, les conséquences d'un forage resteraient toutefois limitées. De plus, les zones recherchées pour implanter les stockages géologiques ne présentent aucun intérêt exceptionnel en termes de ressources naturelles dans leur sous-sol. Le choix de ce type de zone, pauvre en ressource, vise à réduire

- ✓ repousser le plus loin possible la perte de la connaissance de la présence du stockage pour réduire les risques liés à l'éventualité d'une action humaine involontaire (forage ou intrusion).

- des objectifs de conservation et de transmission de connaissances :
  - ✓ transmettre aux générations successives le patrimoine d'informations, données et connaissances disponibles actuellement, pour leur fournir les moyens de prendre les décisions les plus éclairées relatives au stockage et à son contenu. La mémoire permet de comprendre et de reconsidérer les choix du passé, elle est donc un des outils pour les générations successives ;
  - ✓ transmettre aux générations futures un patrimoine scientifique, technique et culturel, permettant de mieux comprendre les sociétés dont elles sont les héritières.

La sûreté passive après fermeture et à long terme du système de stockage (cf. « Pièce 8 – Étude de maîtrise des risques » (13)) permet de garantir la protection de la santé des personnes et de l'environnement, même si la mémoire de sa présence venait à disparaître.

7.5 Les dispositifs mémoriels

7.5.1 Préambule

L'Andra travaille à développer des dispositifs pour favoriser la transmission intergénérationnelle des connaissances des déchets HA et MA-VL et, sous réserve d'autorisation, de leur présence dans les ouvrages de stockage.

Les dispositifs mémoriels font et feront encore l'objet d'échanges avec le public et les parties prenantes dans le cadre de la gouvernance du centre de stockage. Ils seront prescrits par l'État dans le cadre du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).

L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) procédera à leur évaluation aux jalons successifs des autorisations du projet. Parmi les conclusions retenues suite à la concertation sur la phase industrielle pilote (20), l'Andra s'est engagé à approfondir et à enrichir encore son programme d'actions en lien avec la mémoire (21).

La mémoire qui sera conservée de l'existence du stockage, de sa fonction, de la dangerosité des déchets qu'il renferme, de sa conception et de son historique de construction et d'exploitation dépendra de la pérennité et de l'efficacité des mesures et dispositifs qui seront mis en œuvre pour l'archivage des documents institutionnels et pour la transmission intergénérationnelle. Ces mesures et dispositifs seront développés et complétés progressivement sur toute la durée d'ordre séculaire de construction, de fonctionnement et de fermeture de l'INB. Ils continueront probablement d'évoluer par la suite. Les dispositifs mémoriels de l'INB Cigéo présentés dans la suite du présent chapitre ne peuvent donc pas prétendre à l'exhaustivité. Leurs mises en œuvre concrètes et leurs évolutions seront tracées périodiquement dans les versions successives du plan directeur de l'exploitation (cf. « Pièce 16 – Plan directeur de l'exploitation » (4)).

7.5.2 Le dossier synthétique de mémoire et le dossier détaillé de mémoire

La directive européenne n° 2011/70/Euratom de 2011 relative aux déchets radioactifs (22) indique que les programmes nationaux doivent inclure « *les concepts ou les plans pour la période postérieure à la fermeture d'une installation de stockage* […], *ainsi que les moyens à utiliser pour préserver la mémoire de l'installation à long terme* ».

encore le risque qu'un forage profond soit réalisé à leur proximité. Ainsi, même si la mémoire même de l'existence du stockage disparait avec le temps, la probabilité d'intrusion humaine involontaire dans un stockage géologique est très réduite par rapport à un ouvrage de surface ou proche de la surface.

Le code de l'environnement indique que le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) « *comporte un état des solutions techniques et des mesures à prévoir pour la période postérieure à la fermeture des installations de stockage, y compris pour la préservation de la mémoire à long terme* » (article L. 542-1-2). Le code de l'environnement prévoit la production de deux dossiers pour le passage en phase de surveillance :

- le « dossier synthétique de mémoire » (DSM) ;
- le « dossier détaillé de mémoire » (DDM).

Ces deux dossiers permettent à l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) de s'assurer que les éléments d'information suffisants ont été rassemblés et organisés de manière lisible pour permettre le maintien d'informations détaillées et utilisables relatives au centre de stockage.

Le DSM décrit l'installation « *telle que construite* » et comporte « *l'inventaire des déchets stockés, avec la localisation des différents déchets et leurs propriétés physico-chimiques ainsi que radiologiques* » (23). La réglementation prévoit qu'une version préliminaire du DSM soit établie au moment du passage en phase de démantèlement et de fermeture.

Le DSM est une introduction au DDM. Il constitue un outil de mobilisation de la société pour porter la connaissance de l'existence du stockage et des informations détaillées afférentes, contenues dans le DDM.

Le DDM contient l'ensemble des informations nécessaires à la compréhension des phénomènes constatés sur, dans et autour de l'installation de stockage et à leur résolution. Il présente les éléments permettant de répondre aux questions des autorités compétentes et, le cas échéant, à étudier la transformation partielle ou totale de l'INB.

La fourniture du DDM est exigée formellement par la réglementation au moment du passage en phase de surveillance, mais en pratique il est développé progressivement au fur et à mesure de la conception, de la construction et du fonctionnement de l'INB Cigéo.

Le travail de préfiguration du DSM et du DDM sera engagé en parallèle de l'instruction du dossier de demande d'autorisation de création (DAC) de l'INB Cigéo. Outre l'intérêt de préparer très en amont la fourniture des dossiers à l'usage de l'ASNR, ceci permet de soutenir le processus de gestion de la connaissance interne à l'Andra et d'échanger avec le public et les parties prenantes sur ces documents.

7.5.3 Les servitudes

La question des servitudes associées à l'INB Cigéo sera instruite au fur et à mesure du processus d'autorisation, de sa création, jusqu'à sa fermeture, en fonction de la réglementation en vigueur aux différentes étapes.

L'INB Cigéo peut être soumise à deux catégories de servitudes ou de droits prenant la forme de périmètres relevant de deux régimes juridiques distincts :

- un régime obligatoire appelé par les articles L. 542-10-1 et L. 542-9 du code de l'environnement qui prévoit que le décret d'autorisation de création de l'INB institue un périmètre de protection. Ce périmètre a pour objet de faire bénéficier l'Andra d'une protection de l'intégrité de ses installations *via* la détermination d'un périmètre à l'intérieur duquel l'autorité administrative peut interdire ou réglementer les travaux ou les activités qui seraient de nature à compromettre, sur le plan technique, le fonctionnement de l'INB. Ce périmètre de protection détermine les types de travaux pouvant impacter l'installation nucléaire durant sa phase de fonctionnement, de fermeture et sa phase d'après-fermeture, par exemple des forages qui seraient envisagés par des tiers ;
- un régime facultatif (article L. 593-5 du code de l'environnement) qui permet de demander, autour de l'INB Cigéo, l'institution de servitudes ayant pour objet de réglementer l'utilisation du sol et l'exécution de travaux pour prévenir ou réduire les risques dans l'éventualité d'un accident ou pour prévenir les effets d'une pollution radioactive ou chimique du sol. Ces servitudes dénommées servitudes d'utilité publique ont pour but de protéger les riverains et l'environnement.

Au stade du dossier de demande d'autorisation de création, l'Andra n'a pas prévu de demander l'institution de servitudes d'utilité publique (cf. « Pièce 12 - Servitudes et demande de périmètres de protection et de droit exclusif » (24)). Celles-ci ne seraient pas justifiées compte tenu des faibles niveaux de risques pour le public et l'environnement, y compris en situation accidentelle.

En revanche, l'institution du périmètre de protection, son inscription dans les documents d'aménagements du territoire et son contrôle à long terme par l'Autorité administrative, y compris après fermeture, participeront au maintien de la mémoire de la présence de l'INB Cigéo.

7.5.4 Les dispositions mémorielles présentes sur ou à proximité de l'INB Cigéo

L'Andra envisage de mettre en place des dispositions mémorielles sur ou à proximité de l'INB Cigéo. Elles seraient maintenues aussi longtemps que nécessaire sans limite préalable de durée. La nature de ces dispositions reste à définir.

Par exemple, l'Andra a déjà lancé des réflexions sur d'éventuels « marqueurs » (objet, sculpture, aménagements du paysage…), dont l'objectif serait de signaler à très long terme la présence du site et d'alerter, y compris des générations très éloignées qui ne partageraient plus notre langue ou notre alphabet, des dangers des déchets radioactifs stockés. Un autre type d'éventuels marqueurs pourrait pointer vers les lieux où seraient conservés des éléments de connaissance et de compréhension de l'INB Cigéo (25).

7.5.5 Interactions sociétales

Les interactions avec la société ont pour objet d'apporter de la robustesse à la transmission mémorielle. Elles mettent la société en capacité de porter la mémoire des choix faits par l'État sur les déchets radioactifs, ainsi que la mémoire des centres de stockage de déchets radioactifs. Elles permettent que la mémoire ne soit pas portée uniquement par des acteurs institutionnels (État, Andra, Archives nationales). Elles sont aussi un moyen de prendre l'avis du public sur la façon dont les connaissances sont transmises aux générations suivantes.

Les modalités d'interactions sont multiples, car l'objectif est de sensibiliser la société dans sa diversité. La mise en place sur le long terme d'actions d'information et de participation du public et des parties prenantes dans le cadre de la gouvernance du centre de stockage Cigéo (cf. « Pièce 16 – Plan directeur de l'exploitation » (4)), participera des interactions sociales et contribuera à diffuser, mettre sur plusieurs générations, la connaissance de l'installation et la conscience de sa présence.

Un rôle particulier est donné aux groupes de réflexion, appelés « groupes mémoire », constitués de riverains. De tels groupes ont été mis en place à proximité de chacun des centres de stockage de l'Andra pour, d'une part porter régulièrement un regard extérieur sur le programme mémoire et se l'approprier, d'autre part imaginer des solutions mémorielles propres aux sites. Il existe d'ores et déjà un « groupe mémoire » auprès du Centre de Meuse/Haute-Marne qui contribue déjà à la démarche mémorielle du stockage.

Plus largement, des réflexions sont menées pour confier au territoire situé à proximité du centre de stockage Cigéo un rôle particulier dans la transmission de la mémoire de l'installation. Il pourrait par exemple abriter des capsules temporelles contenant des exemplaires du DSM et du DDM, sur divers supports pérennes et avec des dispositifs d'aide à leur interprétation (glossaires, outils de recherche, documents traduits en plusieurs langues…).

TABLEAU DE TRAÇABILITE DES PRINCIPALES EVOLUTIONS

Le tableau suivant précise les paragraphes qui présentent des évolutions ainsi que leur origine qui peut être de différente nature :

- évolution réglementaire : mise en cohérence avec les évolutions de réglementation post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- instruction technique avec l'ASNR : intégration de précisions apportées à l'ASNR en cours d'instruction technique en lien avec le contenu du dossier de DAC ;
- cohérence dossier : mise en cohérence entre pièces du dossier de DAC ;
- cohérence DR0 : mise en cohérence avec le dossier DR0 déposé post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- cohérence dossier de chiffrage : mise en cohérence avec le dossier de chiffrage déposé post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- cohérence dossiers PNGMDR : mise en cohérence avec les dossiers en réponse au PNGMDR déposés post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- cohérence politique énergétique : mise à jour de l'inventaire de réserve et des études de sûreté associées pour tenir compte des évolutions de politique énergétique. Ces éléments ont été communiqués à l'ASNR dans le cadre de l'instruction technique ;
- cohérence planning : intégration de la mise à jour de la date de mise en service annoncée post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- cohérence conditionnement : mise en cohérence avec les évolutions de conditionnement des colis primaires annoncées par les producteurs post-dépôt initial du dossier de DAC.

Paragraphe actualisé		Actualisation liée à								
		Évolution réglementaire	Instruction technique avec l'ASNR	Cohérence dossier	Cohérence DR0	Cohérence dossier de chiffrage	Cohérence dossiers PNGMDR	Cohérence politique énergétique	Cohérence planning	Cohérence conditionnement
1.1.1	Exigences du code de l'environnement	X								

Paragraphe actualisé		Actualisation liée à								
		Évolution réglementaire	Instruction technique avec l'ASNR	Cohérence dossier	Cohérence DR0	Cohérence dossier de chiffrage	Cohérence dossiers PNGMDR	Cohérence politique énergétique	Cohérence planning	Cohérence conditionnement
2.4.1	Scénario de fermeture proposé par l'Andra au stade de la présente demande d'autorisation de création (DAC)								X	

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1-1	Structuration des pièces du dossier de demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo pour son dépôt	9
Figure 2-1	Illustration des procédures, des étapes et des opérations de démantèlement, de fermeture et de passage en surveillance de l'INB Cigéo	15
Figure 2-2	Illustration des étapes et opérations de démantèlement, d'assainissement et de déconstruction des installations de surface	17
Figure 2-3	Échelle internationale montrant les niveaux de récupérabilité (5)	18
Figure 2-4	Schéma de fermeture proposé par l'Andra au stade de la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo	21
Figure 4-1	Vue globale de l'alvéole MA-VL en phase de fonctionnement	36
Figure 4-2	État de l'alvéole en attente de l'étape 1 de fermeture (obturation de l'alvéole) côté galerie d'accès	37
Figure 4-3	Schéma des étapes de fermeture pour le quartier de stockage MA-VL	38
Figure 4-4	Démantèlement des équipements de la cellule de manutention sur quelques mètres devant le voile de radioprotection à l'entrée de la zone de stockage	39
Figure 4-5	Mise en place d'une ventilation secondaire, arrêt de la ventilation exploitation de l'alvéole et mise en œuvre de l'obturation de l'alvéole	40
Figure 4-6	Alvéole MA-VL et galerie d'accès obturés et galeries de liaison et de retour d'air non obturées	41
Figure 4-7	Fermeture étape 3 – Positionnement des sas et des scellements du quartier de stockage MA-VL et phasage des opérations de remblayage	43
Figure 4-8	Schéma de principe d'un alvéole HA en attente de fermeture	44
Figure 4-9	Schéma des étapes de fermeture pour la zone de stockage HA	45
Figure 4-10	Schéma de principe d'un scellement de galerie de référence	47
Figure 4-11	Scellements en zone de stockage HA	48
Figure 4-12	Fermeture Étape 4 – Séquencement de la fermeture de la zone de stockage HA	48
Figure 4-13	Schéma de principe d'un scellement d'un puits	50
Figure 4-14	Schéma de principe de scellement en descenderie	51
Figure 4-15	Schéma de principe de scellement de la colonne à carburant	52
Figure 6-1	Schéma de principe de l'état final envisagé	59

Tableaux

Tableau 3-1	Bilan des quantités de déchets de démantèlement (tonnes) estimées à ce stade	32

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 2 - Nature de l'installation. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-XEE-0000-19-0003.

2 Arrêt définitif, démantèlement et déclassement des installations nucléaires de base - Guide de l'ASN n° 6. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2016). 36 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/espace-professionnels/guides-de-l-asn/guide-de-l-asn-n-6-arret-definitif-demantelement-et-declassement-des-installations-nucleaires-de-base.

3 Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (version consolidée au 24 septembre 2018). Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement; Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie (2018). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP1202101A.

4 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.

5 Réversibilité des décisions et récupérabilité des déchets radioactifs - Éléments de réflexion pour les programmes nationaux de stockage géologique. Nuclear Energy Agency (NEA) (2012). 33 p. Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/upload/docs/application/pdf/2020-11/7105-reversibilite.pdf.

6 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.

7 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 22 - Glossaire et acronymes. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-LST-AMOA-MN0-0000-19-0009.

8 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.

9 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.

10 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 9 - Capacités techniques de l'exploitant. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-XEE-0000-19-0001.

11 Systèmes de management de la qualité - Exigences - Quality management systems: requirements. Association française de normalisation (Afnor) (2015), NF EN ISO 9001; NF X50-131.

12 Arrêté du 18 décembre 2017 portant homologation de la décision n° 2017-DC-0616 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 30 novembre 2017 relative aux modifications notables des installations nucléaires de base (version consolidée de la décision au 1er janvier 2025). Ministère de la Transition écologique et solidaire (2025). Journal officiel de la République française (JORF), N°TREP1735400A.

13 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 8 - Étude de maîtrise des risques. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-ERQ-AMOA-SR0-0000-19-0037.

14 Dixon, D.,Priyanto, D.G.,Korkeakoski, P.,Farhoud, R. 115 - The Enhanced Sealing Project (ESP): 2009-2016: Monitoring of Full-Scale Shaft Seal Installed in Granitic Rock (2017). Clay conference

2017, 7th international conference on clays in natural and engineered barriers for radioactive waste confinement, Davos, 24-27 September 2017.

15 Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2008). 32 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/50883/352509?version=2.

16 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.

17 The Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) Across Generations: Improving Our Understanding. RK&M Workshop Proceedings 12-13 September 2012, Issy-les-Moulineaux, France (2013). Radioactive waste management. Vol. NEA/RWM/R(2013)3.

18 ICRP Publication 122: Radiological Protection in Geological Disposal of Long-lived Solid Radioactive Waste. Annals of the International commission on radiological protection (ICRP) (2013). Weiss, W.,Larsson, C.M.,McKenney, C.,Minon, J.P.,Mobbs, S.,Schneider, T.,Umeki, H.,Hilden, W.,Pescatore, C.,Vesterlind, M. Vol. 42, N°3, 61 p.

19 Preservation of Records, Knowledge and Memory (RK&M) Across Generations. Nuclear Energy Agency (NEA); Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) (2020). Consulté le 28/06/2022. Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/rwm/rkm/.

20 Bilan des concertations sur la phase industrielle pilote et la gouvernance du projet Cigéo. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-BLN-AMOA-CM0-0000-22-0022. Disponible à l'adresse : https://concertation.andra.fr/media/default/0001/01/503b5d7999391f0987eb068549b3939a5aecc816.pdf.

21 Pour que demain, ils se souviennent. Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) (2021). Consulté le 28/06/2022. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/pour-que-demain-ils-se-souviennent.

22 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.

23 Décret n° 2019-190 du 14 mars 2019 codifiant les dispositions applicables aux installations nucléaires de base, au transport de substances radioactives et à la transparence en matière nucléaire. Ministère de la Transition écologique et solidaire (2019). Journal officiel de la République française (JORF), N°TREP1804022D.

24 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 12 - Servitudes et demande de périmètres de protection et de droit exclusif. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-PU0-0000-19-0026.

25 Meaux, M.-L., Vazelle, J.-D. Second rapport intermédiaire de la concertation continue - Projet Cigéo de stockage géologique des déchets radioactifs : concertation continue post débat public du 28 janvier 2021 au 14 mars 2022. Commission nationale du débat public (CNDP) (2022). 60 p. Disponible à l'adresse : https://www.debatpublic.fr/sites/default/files/2022-05/VD%20RAPPORT%20PR%C3%89%20DAC%2020220523%20.pdf.

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