RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ANDRA

2026

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

PIÈCE 7

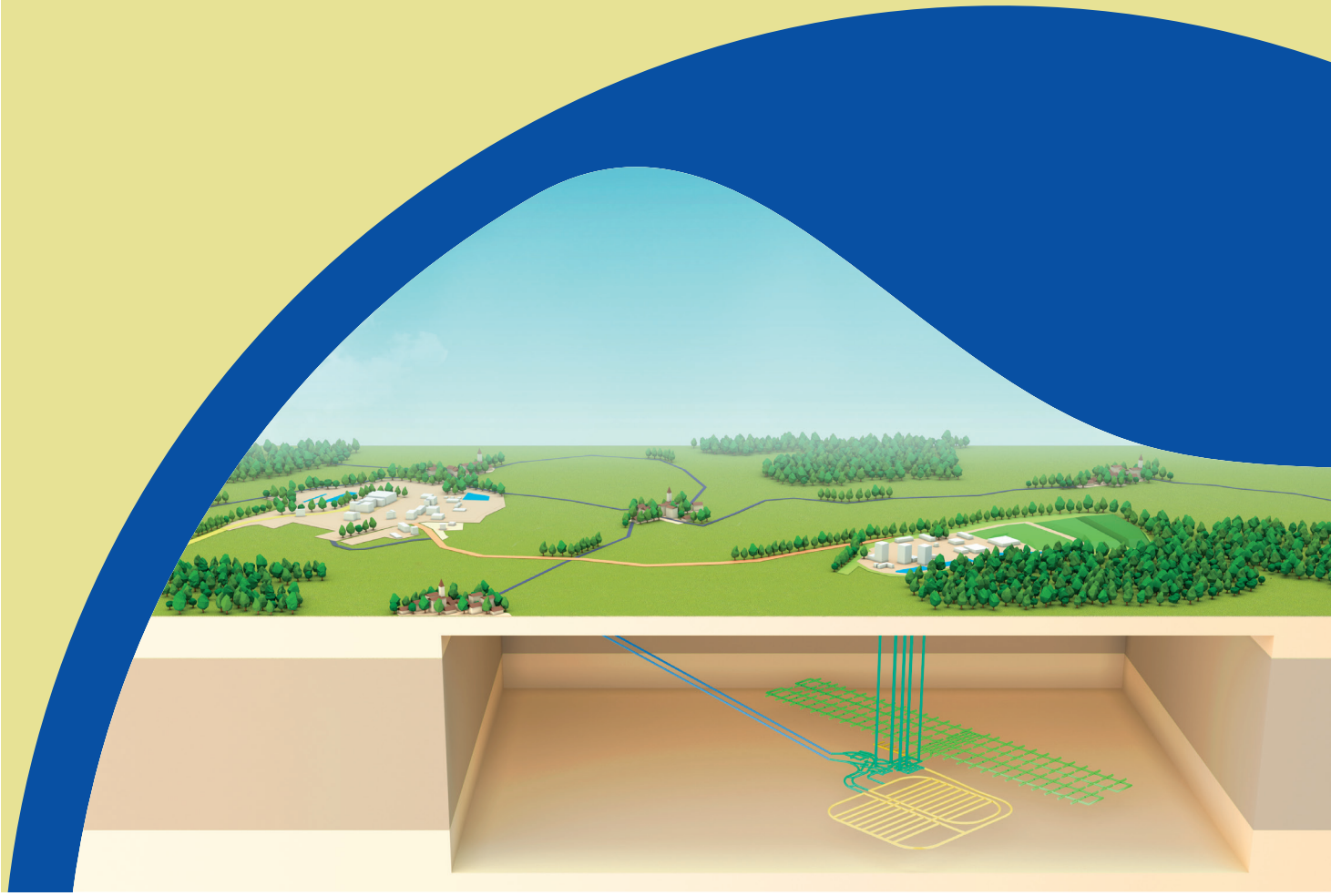
Version préliminaire du rapport de sûreté

PARTIE IV

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

Volume 10

La progressivité de la construction



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

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

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

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

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

Sommaire

1. Le contexte de la progressivité 7

1.1 Le contexte réglementaire 8

1.2 Le plan directeur de l'exploitation propose la feuille de route du déploiement prévisionnel jusqu'à terminaison 8

1.2.1 La construction progressive par tranches successives 10
1.2.2 La première tranche 11
1.2.3 La phase industrielle pilote 12
1.2.4 Les tranches ultérieures 14

2. Les dispositions pour faciliter le développement progressif 17

2.1 La zone d'implantation du déploiement des tranches 18

2.1.1 La ZIOS est la résultante d'une reconnaissance approfondie 18
2.1.2 La poursuite des travaux de reconnaissance pour préparer la construction initiale 19

2.2 Les bâtiments/ouvrages en surface 20

2.2.1 La construction du bâtiment nucléaire de surface EP2 à l'horizon de 2080 20
2.2.2 La construction de l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal (ET-H) après la mise en service de l'INB 20
2.2.3 La gestion en surface de l'argilite excavée au fur et à mesure de la construction progressive des tranches 21

2.3 Les ouvrages communs aux tranches de construction 22

2.4 L'installation souterraine 22

2.4.1 Le dimensionnement à une durée d'ordre séculaire du déploiement des tranches 23
2.4.2 La limitation des arrêts d'exploitation 23
2.4.3 La séparation physique des activités de construction et d'exploitation nucléaire 24

2.5 Le dimensionnement et la démonstration de sûreté couvrant l'ensemble des tranches 30

2.5.1 Un inventaire de référence 31
2.5.2 Un niveau de connaissance de l'ensemble des familles de l'inventaire pris en compte 32
2.5.3 L'ensemble des modes de stockage considérés 34
2.5.4 Des spécifications d'acceptation des colis établies pour l'ensemble des colis de l'inventaire de référence 35

3. Le plan de développement des installations et ouvrages en lien avec le déploiement progressif 37

3.1 L'objet du plan de développement 38

3.2 La préparation de la mise en service pendant la phase industrielle pilote 40

3.2.1 La consolidation des données sur l'environnement de surface et le milieu géologique pour conforter le dimensionnement des ouvrages à construire en surface et la géométrie de la ZIOS 40
3.2.2 La préparation de la mise en service de la première tranche du quartier de stockage MA-VL 42

3.2.3 La préparation de la mise en service du quartier pilote HA 43
3.3 La préparation de la mise en service des tranches ultérieures pour le stockage des déchets HA et MA-VL 44
3.3.1 La préparation de la mise en service des tranches ultérieures du quartier de stockage MA-VL 44
3.3.2 La préparation de la mise en service du quartier de stockage HA 45
3.4 La préparation de la fermeture 46

Tableau de traçabilité des principales évolutions 49

Tables des illustrations 51

Références bibliographiques 53

Préambule

Le code de l'environnement indique que la version préliminaire du rapport de sûreté « *décrit et justifie les dispositions prévues pour assurer le caractère réversible du stockage ainsi que le prescrit l'article L. 542-10-1* ».

Pour répondre spécifiquement au III de l'article R. 593-16 du code de l'environnement, le présent rapport apporte les éléments relatifs aux quatre volets de la réversibilité selon quatre volumes spécifiques (dont les fondements techniques sont rappelés en annexe 1 du volume 1 du présent rapport).

Le présent volume est relatif à la progressivité de la construction.

LE PLAN DIRECTEUR D'EXPLOITATION[1]

La « Pièce 16 - Plan directeur d'exploitation » (PDE) (1) présente le déploiement prévisionnel de l'INB notamment les perspectives de construction et d'exploitation de l'INB par tranches.

Le PDE constitue une des pièces du dossier d'autorisation de création de l'INB Cigéo demandé par l'article R. 593-16 du code de l'environnement.

Les propositions de l'Andra concernant la phase industrielle pilote prévue par le code de l'environnement (L. 542-10-1) sont également présentées dans ce plan.

Le PDE est un document évolutif par nature, l'Andra en produira des éditions successives sur la durée du développement de l'INB. Ces éditions constitueront un support concret d'informations, régulièrement actualisées, à destination des citoyens.

En lien avec le PDE, la construction progressive de l'INB correspond ainsi à un enchaînement prudent d'opérations de construction et de mises en service successives de parties de l'INB (bâtiments nucléaires de surface, ouvrages souterrains) sur toute la durée de son fonctionnement. Les tranches successives de construction mèneront progressivement à la construction complète de l'installation, en particulier de l'installation souterraine (à la fin de la construction, l'installation souterraine telle que construite est dite « à terminaison »). La programmation des opérations pourra être revue pour modifier la construction et la mise en service des tranches successives. Les évolutions seront tracées dans les versions successives du Plan directeur d'exploitation. La progressivité de la construction et des mises en services successives donne le temps à l'Andra en tant qu'exploitant de l'INB :

- d'intégrer des évolutions de modes de stockage de certains colis de déchets : stockage direct en lieu et place du stockage en conteneur sous réserve de respecter les spécifications d'acceptation des colis pour ce mode de stockage ou *vice-versa* ;
- de consolider les stratégies de gestion de déchets comme en particulier pour les colis de déchets bitumés pour lesquels deux voies de gestion sont à ce stade considérées.

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

De plus, la progressivité de la construction favorise l'intégration aux futures tranches de construction, de toutes les améliorations de connaissances qui seront rendues possibles par les progrès scientifiques et techniques pour optimiser le stockage au sens large ou choisir la meilleure solution de stockage (cas des déchets bitumés pour lesquels deux voies de gestion en stockage sont considérées à ce stade).

[1] La « Pièce 16 - Plan directeur de l'exploitation » (1) est une pièce constitutive du dossier de la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo prévue par le code de l'environnement (article R. 593-16, alinéa III).

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

À ce titre, la construction et l'exploitation du quartier pilote HA dès la phase industrielle pilote (Phipil), permettent de disposer d'un retour d'expérience précieux pour la définition technique, la construction, l'exploitation du quartier de stockage HA qui sera mis en œuvre à l'horizon 2080.

De même, l'optimisation technico économique de la conception ainsi que l'amélioration continue des dispositions prises pour sa sûreté s'appuieront pendant toute la durée du fonctionnement de l'INB sur, *a minima*, une veille scientifique et technologique voire la mise en œuvre en propre par l'Andra d'études et recherches en matière de développement du stockage. Sur ce dernier point, des évolutions de conception pourraient également provenir de prescriptions formulées par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) à l'occasion des réexamens périodiques de sûreté. La surveillance et l'exploitation de l'INB amèneront aussi naturellement des éléments de connaissances additionnels sur le comportement du stockage en grand et des composants, utiles pour l'optimisation de sa conception et de son exploitation et l'amélioration continue. Le développement progressif favorise le maintien du plus haut de niveau de sûreté tout en maîtrisant les coûts du stockage.

Après un rappel du contexte au chapitre 1 du présent volume, dont la stratégie proposée dans la pièce 16 « Plan directeur de l'exploitation » (1), le chapitre 2 du présent volume, présente les dispositions retenues en termes de conception, d'organisation et de démonstration de sûreté pour permettre cette progressivité. Enfin, le chapitre 3 du présent volume introduit la « Pièce 20 - Plan de développement de l'installation de stockage Cigéo » (2) qui est proposé en lien avec le déploiement progressif de la construction.

1

Le contexte de la progressivité

1.1 Le contexte réglementaire 8
1.2 Le plan directeur de l'exploitation propose la feuille de route du déploiement prévisionnel jusqu'à terminaison 8

1.1 Le contexte réglementaire

L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement précise que « *la réversibilité est la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion. La réversibilité est mise en œuvre par la progressivité de la construction, l'adaptabilité de la conception et la flexibilité d'exploitation du stockage permettant d'intégrer le progrès technologique et de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets (suite notamment à une évolution de la politique énergétique). Elle inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage.* ».

Cette notion est également celle de la directive européenne de 2011 (3), qui indique que « *la réversibilité et la récupérabilité en tant qu'éléments d'exploitation et de conception peuvent servir à orienter la mise au point technique d'un système de stockage* ».

Le code de l'environnement indique par ailleurs que la présente version préliminaire du rapport de sûreté « *décrit et justifie les dispositions prévues pour assurer le caractère réversible du stockage ainsi que le prescrit l'article L. 542-10-1* ».

Le présent volume traite ainsi, parmi les quatre volets de la réversibilité (cf. Volume 1 du présent rapport), de la progressivité de la construction qui correspond à un enchaînement prudent d'opérations de construction et de mises en service successives de parties de l'INB Cigéo, sur toute la durée de son fonctionnement et selon le plan directeur de l'exploitation présenté ci-après (1).

1.2 Le plan directeur de l'exploitation propose la feuille de route du déploiement prévisionnel jusqu'à terminaison

LE PLAN DIRECTEUR DE L'EXPLOITATION

Le « Plan directeur de l'exploitation » (1) est une pièce constitutive du dossier de la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base Cigéo prévue par le code de l'environnement (article R. 593-16, alinéa III).

Le PDE présente le déploiement prévisionnel de l'INB proposé au stade de la demande d'autorisation de création, notamment des perspectives de construction et d'exploitation de l'INB par tranches.

Pour rappel, les phases temporelles du déploiement prévisionnel de l'INB sont présentées en figure ci-après.

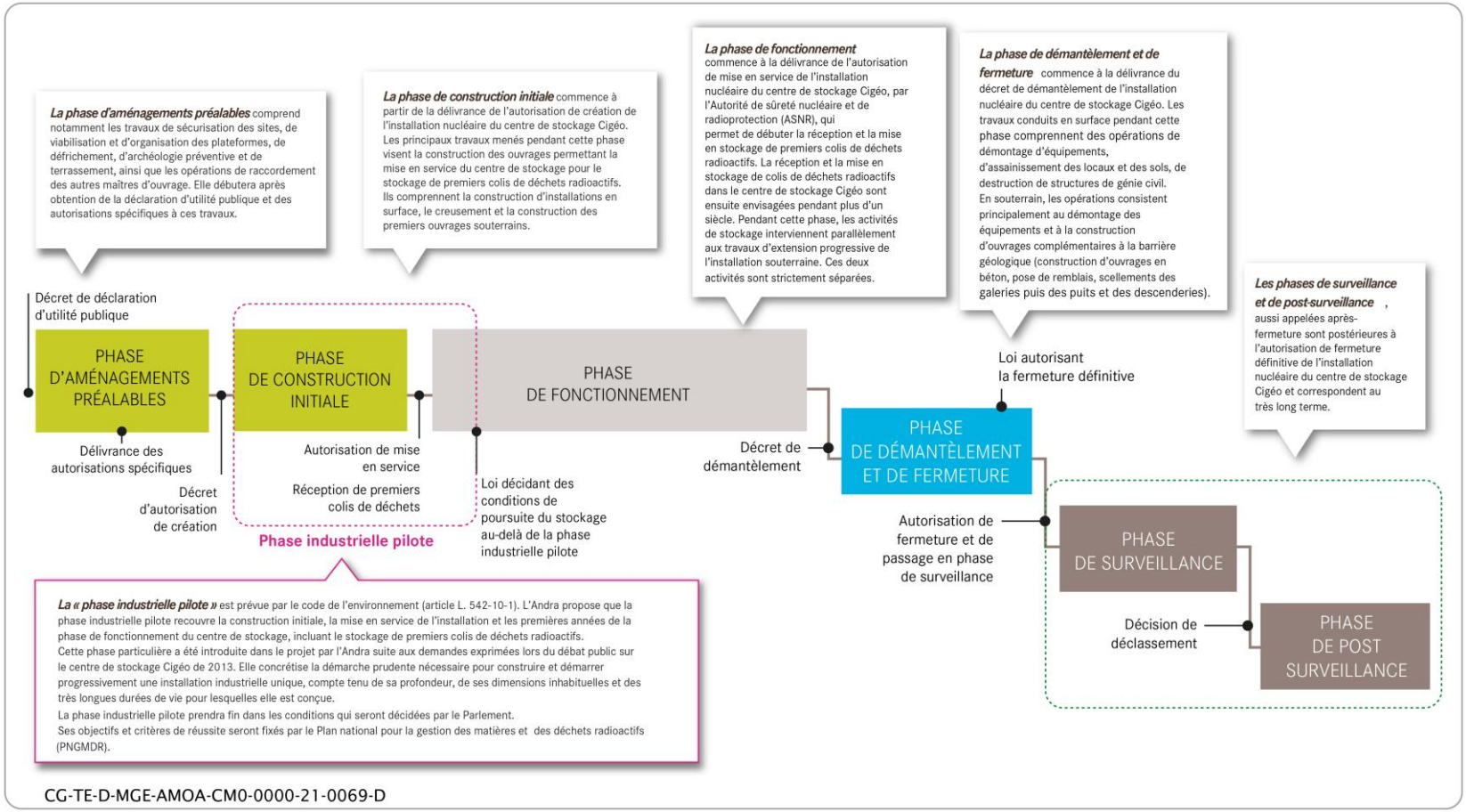


Figure 1-1 Schéma prévisionnel des phases temporelles de l'INB Cigéo

1.2.1 La construction progressive par tranches successives

La construction progressive de l'INB correspond à un déploiement par tranches[2] successives (cf. « Pièce 16 - Plan directeur de l'exploitation » (1)). Elle commence par la phase de construction initiale puis par un enchaînement d'opérations de construction et d'exploitation des ouvrages souterrains sur toute la durée de son fonctionnement.

Ces tranches de construction se succèdent et mènent progressivement à la construction complète, en particulier de l'installation souterraine (à la fin des opérations de construction et d'exploitation du quartier de stockage HA, l'installation souterraine « à terminaison » sera telle que construite).

Le déploiement prévisionnel de l'installation souterraine jusqu'à la fin de la phase de fonctionnement, tel que proposé dans la « Pièce 16 – Plan directeur de l'exploitation », constitue la feuille de route initiale du développement des constructions et des mises en service successives. Ce déploiement pourra être révisé régulièrement au fur et à mesure des éditions successives du PDE (tous les 5 ans selon l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, modifié par la loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016).

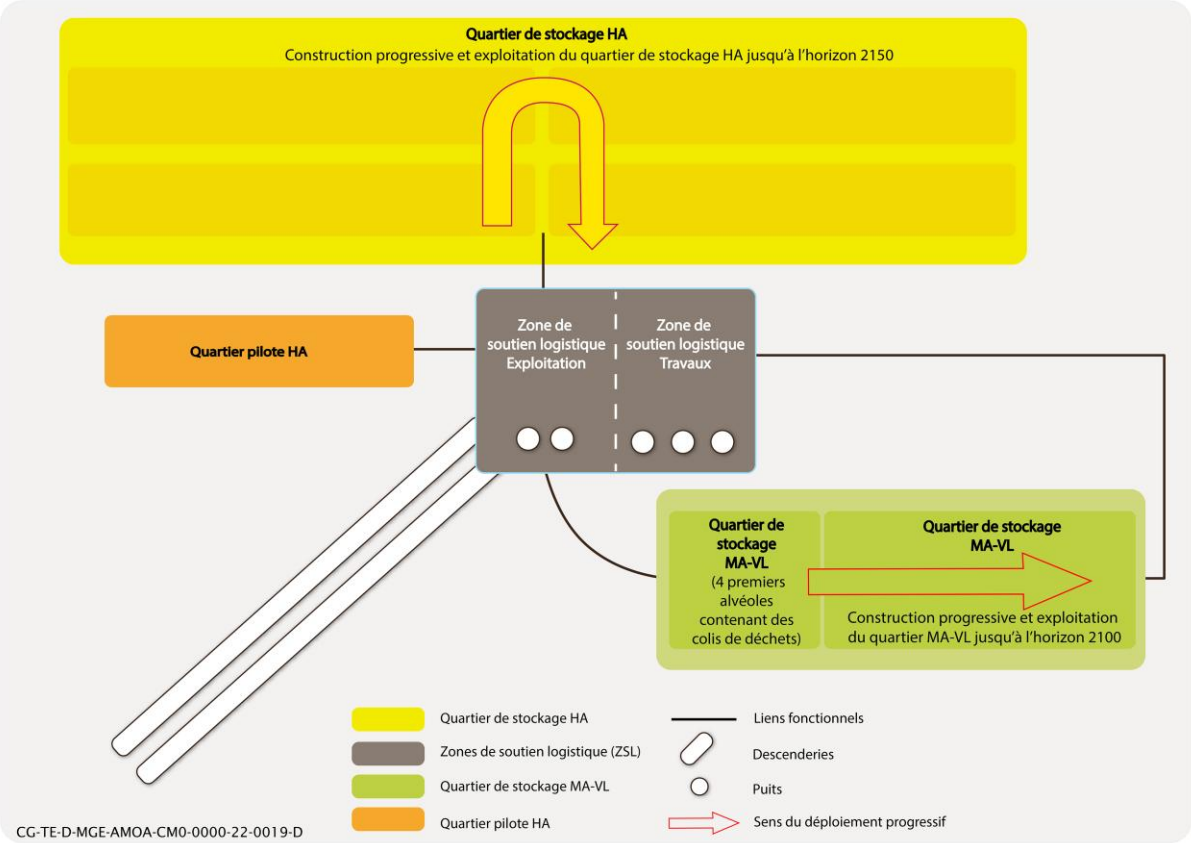


Figure 1-2 *Schéma simplifié du déploiement prévisionnel de l'installation souterraine*

La progressivité de la construction favorise tout au long du déploiement de l'installation l'intégration aux futures tranches de construction, dans une logique d'amélioration continue, des progrès scientifiques et technologiques et du retour d'expérience. Dès lors qu'une meilleure solution technologique aura été développée et aura atteint un degré de maturité suffisant, elle pourra, sous

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

réserve de sa démonstration de sûreté et de son autorisation, être intégrée aux ouvrages à construire. À ce titre, la construction et l'exploitation du quartier pilote HA permettent de disposer d'un retour d'expérience précieux et significatif pour la définition technique du quartier de stockage HA et sa construction à l'horizon 2060, puis pour son exploitation et sa surveillance.

Ainsi le développement progressif de la construction s'appuiera pendant toute la durée du fonctionnement de l'INB *a minima* sur une veille scientifique et technologique, voire sur la mise en œuvre en propre par l'Andra d'études et de recherches en matière de développement du stockage. L'exploitation et la surveillance de l'exploitation de l'INB amèneront aussi des éléments de retour d'expérience pour l'optimisation de sa conception et de son exploitation.

La progressivité de la construction (et des mises en service successives) permet aussi :

- d'intégrer des évolutions de modes de stockage de certains colis de déchets : stockage direct en lieu et place du stockage en conteneur, sous réserve du respect des spécifications d'acceptation des colis (4) et de respecter les règles de co-stockage (cf. Volume 11 du présent rapport) ;
- de consolider les stratégies de gestion de déchets, en particulier pour les colis de déchets bitumés pour lesquels deux voies de gestion sont à ce stade considérées (cf. Volume 11 du présent rapport).

Associé à l'adaptabilité de la conception de l'INB, le développement progressif offre également la possibilité en cas de décision de changement de stratégie en matière de politique énergétique d'adapter les ouvrages à d'éventuelles évolutions d'inventaire de déchets (par exemple, construction ou non de sous-quartiers de stockage de combustibles usés présentés dans le volume 12 du présent rapport).

LA CHRONOLOGIE PRÉVISIONNELLE PROPOSÉE DANS LA « PIÈCE 16 – PLAN DIRECTEUR DE L'EXPLOITATION » EST INDICATIVE

Elle pourra être adaptée pour prendre en compte le retour d'expérience et les ajustements du programme de livraison des colis de déchets à stocker en fonction des futurs besoins (cf. Volume 11 du présent rapport).

Elle pourra également être modifiée :

- par d'éventuelles prescriptions du Gouvernement édictées en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR), par exemple des évolutions d'inventaire (cf. Volume 12 du présent rapport) ;
- par d'éventuelles décisions de mise en œuvre de la récupérabilité (cf. Volume 13 du présent rapport).

En tout état de cause, elle dépend de la délivrance des autorisations de prise en charge des colis, de construction des ouvrages de stockage et des conditions de mise en service pour ces ouvrages.

1.2.2 La première tranche

La première tranche d'installations/ouvrages construits pendant la phase de construction initiale (cf. Volume 5 du présent rapport) intègre en particulier (cf. « Pièce 16 - plan directeur de l'exploitation » (1)) :

- le bâtiment nucléaire dénommé « EP1 » où seront réceptionnés, contrôlés et préparés les colis de déchets ainsi que les bâtiments et ouvrages nécessaires à son fonctionnement dès la première mise en service ;
- les descenderies de colis et de service ainsi que les cinq puits ;
- un quartier pilote HA ;
- quatre premiers alvéoles de stockage du quartier de stockage MA-VL ;
- les deux zones de soutien logistique de l'installation souterraine (exploitation et travaux).

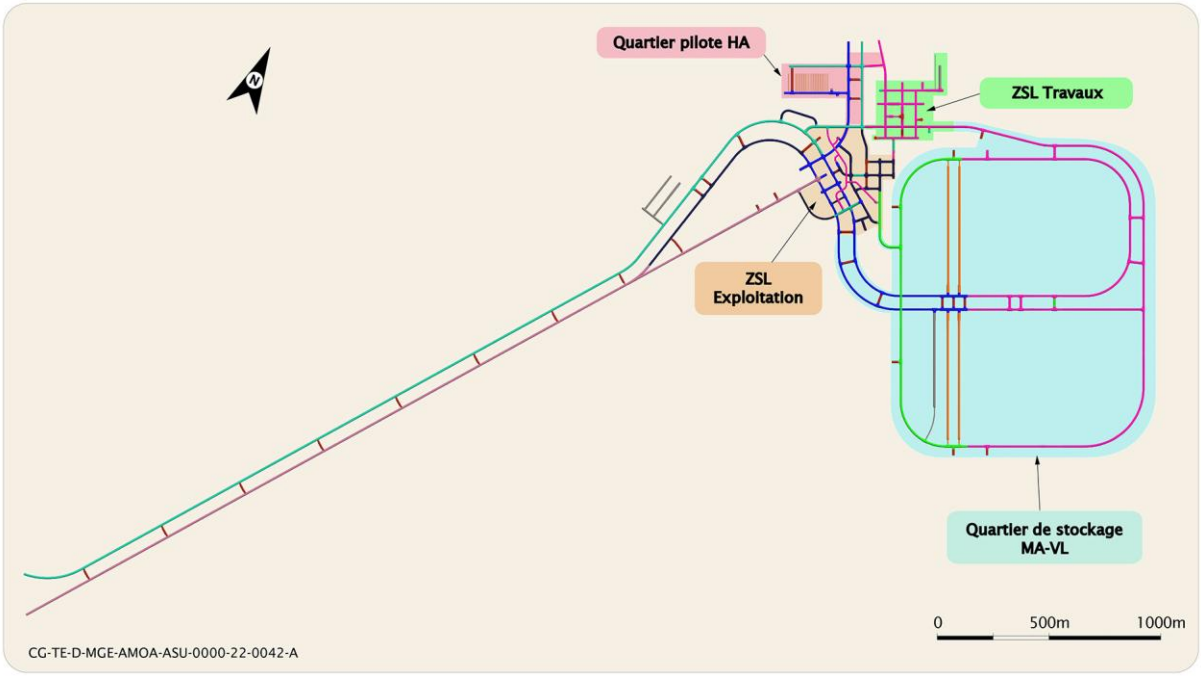


Figure 1-3 *Illustration des ouvrages souterrains construits lors de la phase de construction initiale (en tranche 1)*

1.2.3 La phase industrielle pilote

La spécificité des premières années du déploiement et du fonctionnement de l'installation nucléaire de base Cigéo repose sur les conditions de participation du public et sur le rendez-vous parlementaire prévus par le code de l'environnement (article L. 542-10-1) qui prévoit une phase industrielle pilote. Cette phase particulière recouvre la phase de construction initiale et les premières années de la phase de fonctionnement.

La **phase industrielle pilote (Phipil)**[3] concrétise la démarche progressive et prudente de construction et de mise en service de l'installation souterraine. Du point de vue technique, elle répond au triple objectif (i) de conforter *in situ*, dans les conditions réelles d'environnement, de construction et de fonctionnement industriel de l'INB, les données utilisées pour sa conception et pour sa démonstration de sûreté ; (ii) de prendre en main progressivement l'exploitation ; et (iii) de procéder à des essais de récupérabilité de colis de déchets.

Sous réserve de son autorisation de création, la construction de l'INB Cigéo, comme celle de toute installation nucléaire, fera l'objet de contrôles de réalisation et d'essais de démarrage, conduits par l'Andra et qui seront, à leur tour, contrôlés par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR).

À l'issue de la construction et des essais en inactif, c'est-à-dire en utilisant des « maquettes » de colis sans radioactivité, l'ensemble des équipements et fonctions de l'installation nucléaire nécessaires au stockage des colis de déchets radioactifs seront opérationnels et les modes opératoires associés auront été définis précisément.

Conformément à la réglementation, l'Andra établira alors un dossier de demande d'autorisation de mise en service de l'installation nucléaire de base Cigéo. Ce dossier sera instruit par l'ASNR et ses services techniques qui vérifieront que l'installation répond aux règles et aux objectifs de sûreté. Si elle est autorisée par l'ASNR, la mise en service sera, conformément au code de l'environnement (article L. 542-10-1), limitée à la Phipil.

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

LA « PIÈCE 16 – PLAN DIRECTEUR DE L'EXPLOITATION » PRÉCISE LES OBJECTIFS ET LA DURÉE DE LA PHIPIL

Dans son plan directeur de l'exploitation, l'Andra propose que la Phipil démarre au début de la construction initiale et se termine quelques années après la mise en service.

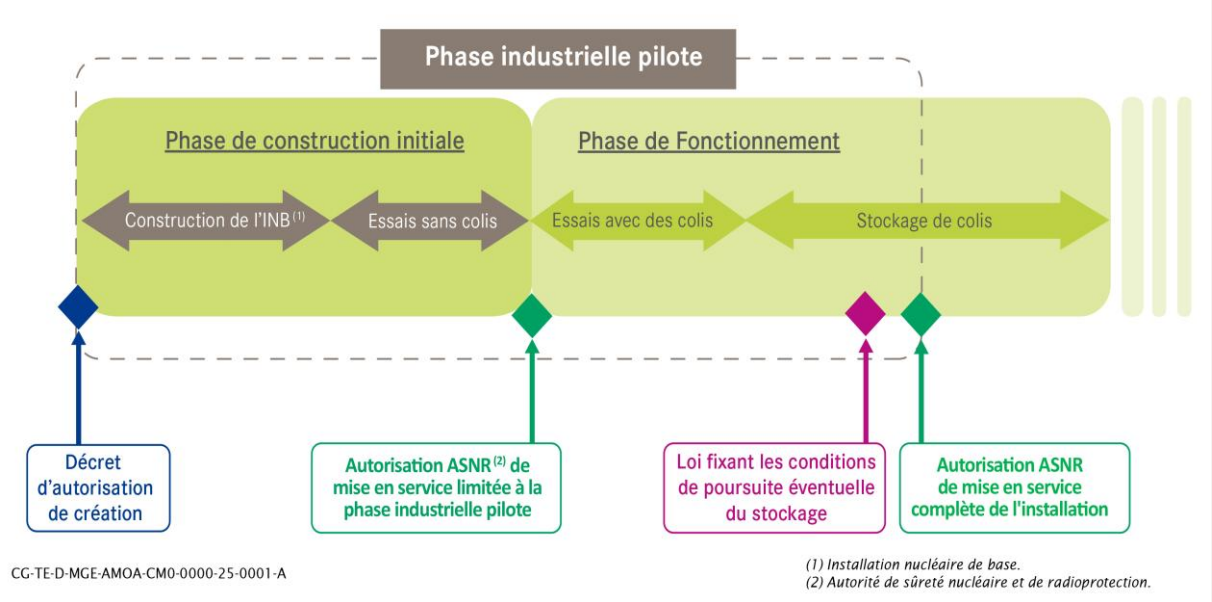


Figure 1-4 *Schéma prévisionnel du déroulement de la Phipil dans le déploiement progressif*

La durée totale de la Phipil pourra être amenée à varier en fonction du rythme d'avancement effectif des travaux de la construction initiale et de la durée nécessaire pour les essais. Certains travaux ou essais pourront être plus rapides que prévu ou inversement plus longs. La durée de la Phipil pourra également varier en fonction des demandes des autorités. Dans la vision prévisionnelle actuelle, la décision du Parlement pourrait intervenir à l'horizon 2055.

De façon globale, la phase industrielle pilote (Phipil) proposée par l'Andra repose sur l'objectif de consolider progressivement, de concerter et, autant que possible, de partager les éléments de connaissances à apporter au Parlement en support de sa décision sur les conditions de poursuite du stockage et sur les modalités de cette poursuite si elle était décidée. La Phipil vise principalement à décider de la nature de la phase qui la suivra et à préparer cette phase suivante. Ainsi, la phase industrielle pilote constitue une mise en pratique concrète du principe de réversibilité défini par le code de l'environnement comme « *la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion* » (article L. 542-10-1).

La Phipil est aussi l'occasion de construire dès la phase de construction initiale des « démonstrateurs » d'alvéoles (HA et MA-VL). Ceux-ci seront construits avec les mêmes méthodes que les autres alvéoles, mais ne seront pas utilisés pour le stockage de colis. Leur construction permettra en premier lieu d'éprouver la qualité des ouvrages réalisés en vraie grandeur et avec les techniques industrielles. Les démonstrateurs d'alvéole permettront également à l'Andra de conforter sa capacité à surveiller les alvéoles, à maîtriser l'évolution de leur comportement dans le temps et à les exploiter.

Des démonstrateurs d'ouvrages de fermeture seront également construits et seront étudiés pendant le fonctionnement de l'installation afin de préparer l'échéance encore lointaine de la construction des ouvrages industriels pour sa fermeture selon la stratégie de fermeture présentée dans la pièce 13 – « Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance » (5)). Par exemple, un démonstrateur de scellement de descenderie sera construit en Phipil, alors que la construction des

ouvrages industriels de fermeture des descenderies n'est prévue qu'à l'horizon 2150. La construction des démonstrateurs en Phipil a pour objectif d'éprouver, dès le début, les conditions de réalisation des ouvrages industriels de fermeture et de disposer, au moment de leur construction, d'un retour d'expérience de leur comportement sur une durée importante.

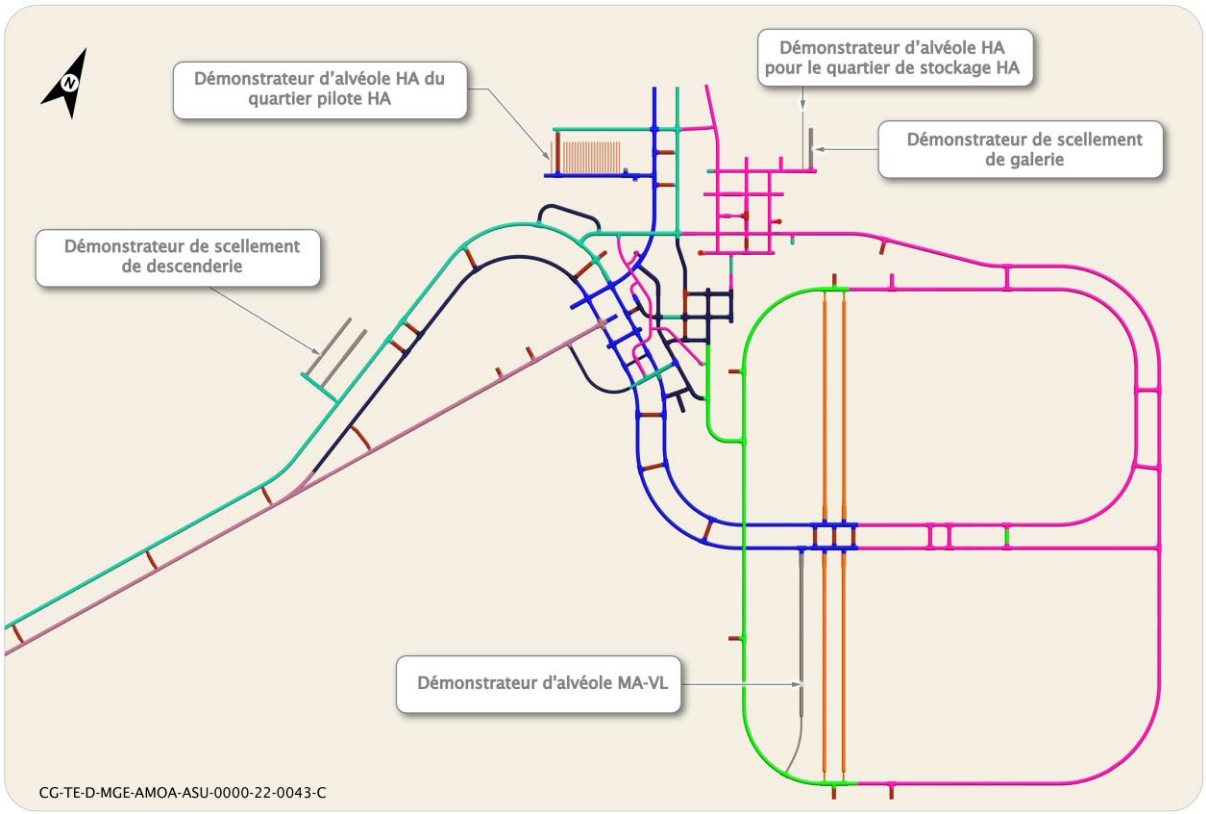


Figure 1-5 *Illustration des démonstrateurs mis en place pendant la construction initiale (en tranche 1)*

1.2.4 Les tranches ultérieures

Le développement des ouvrages souterrains se prolonge par la poursuite de la construction et de l'exploitation du quartier de stockage MA-VL (cf. Figure 1-6). Il correspond au caractère continu, régulier et prudent de l'enchaînement des opérations de construction pendant la phase de fonctionnement. Il favorise l'intégration aux futures tranches de construction de toutes les améliorations qui seront rendues possibles sur la durée d'ordre séculaire du projet par les progrès scientifiques et techniques et par le retour d'expérience dans une optique d'optimisation technico-économique de la conception ainsi que pour l'amélioration continue, au sens de l'arrêté du 7 février 2012 (6), des dispositions prises pour la sûreté.

À l'horizon 2080, la chronique de livraison des colis prévoit l'arrivée des colis HA1/HA2. Cet horizon de temps pour la réception de ces colis est conditionné par la puissance thermique élevée de ces colis au moment de leur production et une décroissance relativement lente, qui les rend discordants avec les exigences thermiques de stockage (en particulier le respect d'une température inférieure à 100 °C en peau de colis et dans les argilites du Callovo-Oxfordien).

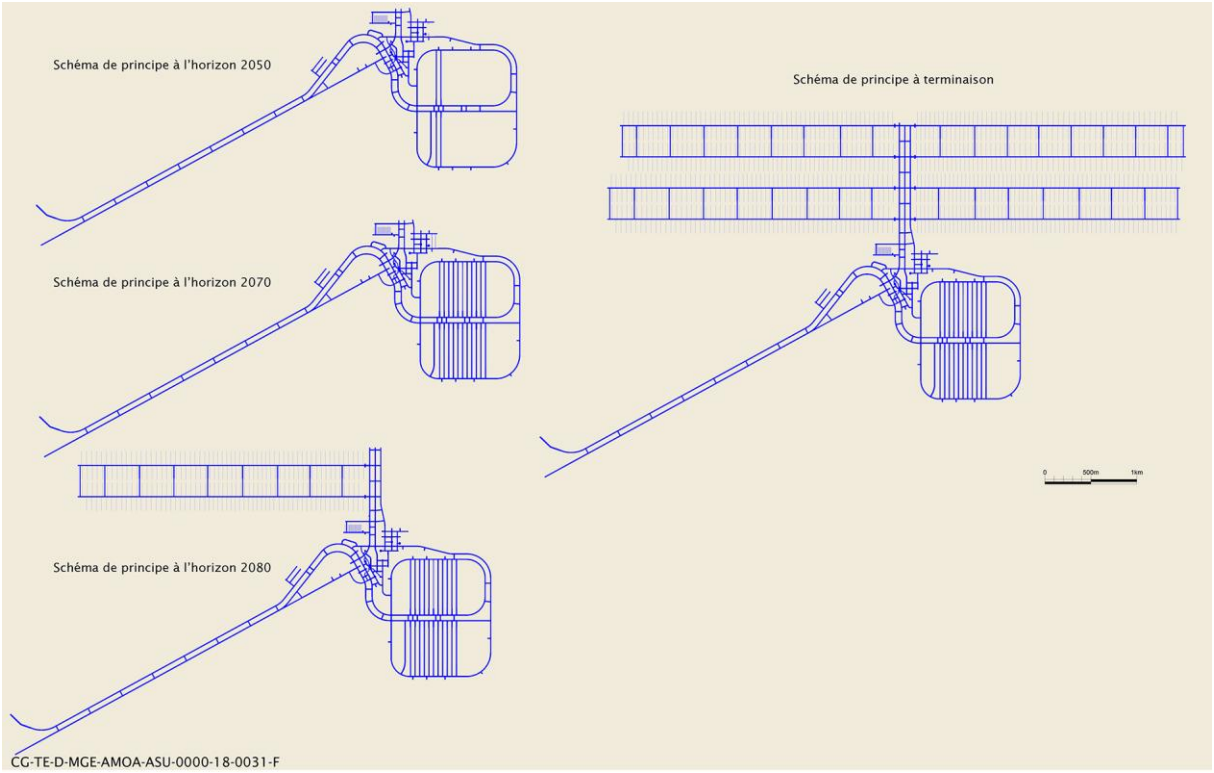


Figure 1-6 Principe de déploiement de l'installation souterraine

Les constructions progressives de l'installation souterraine, par tranches successives, seront ainsi organisées en fonction des futurs besoins et de la délivrance des autorisations associées.

Par la suite, pendant la centaine d'années prévue pour l'exploitation, l'installation souterraine se développera régulièrement (cf. Figure 1-7) pour permettre la réception de la totalité des colis de déchets. Au fur et à mesure des besoins de stockage, les zones de stockage seront étendues de manière progressive.

Pour des raisons de sûreté, les zones nucléaires en exploitation sont toujours séparées physiquement des zones en travaux (cf. Chapitre 2.4 du présent volume). Ainsi, les travaux de construction peuvent être effectués sans impact sur la poursuite des opérations de mise en stockage (chantier clos et indépendant).

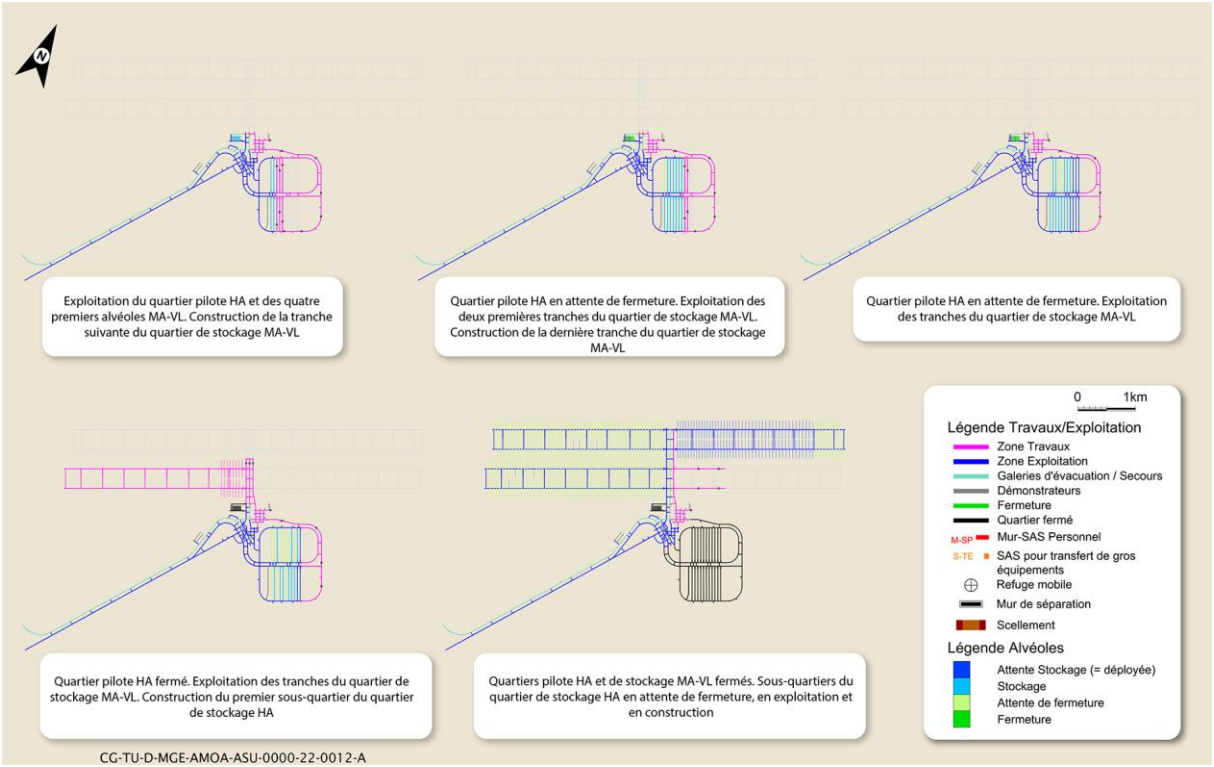


Figure 1-7 *Illustration du développement progressif des ouvrages souterrains de l'installation souterraine*

Après exploitation, les quartiers de stockage seront fermés selon la stratégie retenue du plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance (5).

2

Les dispositions pour faciliter le développement progressif

2.1	La zone d'implantation du déploiement des tranches	18
2.2	Les bâtiments/ouvrages en surface	20
2.3	Les ouvrages communs aux tranches de construction	22
2.4	L'installation souterraine	22
2.5	Le dimensionnement et la démonstration de sûreté couvrant l'ensemble des tranches	30

2.1 La zone d'implantation du déploiement des tranches

Afin de permettre la construction progressive des ouvrages souterrains sans devoir formuler une demande d'extension du périmètre de l'INB en souterrain avant la construction de chaque tranche d'alvéoles de stockage, l'Andra englobe une zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) dans le périmètre INB pour permettre le stockage de l'ensemble des colis de l'inventaire de référence. La proposition de périmètre de l'INB dans le cadre de la demande d'autorisation de création est illustrée dans la « Pièce 4 - Plans de situation au 1/10 000e indiquant le périmètre proposé » et la « Pièce 5 - Plans détaillés de l'installation à l'échelle 1/2 500e » du dossier de demande d'autorisation de création (7, 8).

2.1.1 La ZIOS est la résultante d'une reconnaissance approfondie

Pour cela, l'Andra définit la ZIOS qui inclut l'ensemble de la couche du Callovo-Oxfordien ayant fait l'objet d'une reconnaissance approfondie. En effet comme indiqué dans le chapitre 1 du volume 4 du présent rapport, la compréhension de la représentation de la géométrie et de l'organisation des propriétés intrinsèques de la formation du Callovo-Oxfordien est fondée sur les résultats de la reconnaissance approfondie menée sur de la zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) de l'ordre de 30 km² environ proposée en 2009 pour l'implantation souterraine des zones de stockage de l'INB.

Les campagnes de reconnaissances par forages et par méthodes géophysiques ainsi que les travaux menés depuis une vingtaine d'années au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ont permis d'acquérir un niveau de connaissance détaillé et maitrisé de la couche du Callovo-Oxfordien de la ZIOS :

- la géométrie stratiforme de la formation est confirmée et cohérente avec l'histoire géologique régionale ;
- l'existence d'un contexte de sédimentation calme et d'une activité tectonique réduite est également garantie ;
- l'épaisseur globale de la formation est caractérisée (pour rappel son épaisseur moyenne est d'environ 150 mètres) ;
- les caractéristiques porales et minéralogiques favorables à la limitation de la migration des espèces en solution et à l'immobilisation et la rétention de l'essentiel des radionucléides et des substances toxiques chimiques sont caractérisées ;
- le modèle géométrique 3D défini agrège de manière cohérente, toutes les données acquises et les interprétations associées, à l'échelle régionale, à l'échelle de la zone de transposition (forages, campagne sismique 2D) et à l'échelle du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Avec la campagne sismique 3D haute-résolution réalisée en 2009-2010 sur la ZIRA, il a atteint un niveau de maturité important, en termes de détails et de précision pour pouvoir retenir l'ensemble de la couche de Callovo-Oxfordien.

LES APPORTS DU LABORATOIRE DE RECHERCHE SOUTERRAIN DE MEUSE/HAUTE-MARNE

La construction du Laboratoire souterrain de recherche Meuse/Haute-Marne a démarré en 2000 par les creusements successifs de deux puits verticaux. Le creusement de ces puits a permis, en complément des campagnes de reconnaissance depuis la surface (forages profonds, investigations par sismique réfraction), de vérifier que les couches géologiques traversées sont bien régulières et n'ont pas été altérées par des phénomènes naturels, par exemple des séismes ou des glaciations, ce qui confirme la qualité de la zone pour y implanter un stockage de déchets radioactifs HA et MA-VL.

Dès l'arrivée du premier puits d'accès au « toit » de la couche du Callovo-Oxfordien (sa partie supérieure), une petite galerie, dénommée la « niche », a été réalisée et l'Andra y a commencé des investigations.

Les premières expérimentations mises en place, à partir de 2004, dans la niche ont été axées sur la composition de l'eau porale contenue dans le Callovo-Oxfordien (expérimentation PAC), la perméabilité du Callovo-Oxfordien (expérimentation PEP) et les coefficients de diffusion et les porosités accessibles à la diffusion du Callovo-Oxfordien (expérimentation DIR) qui sont des données d'entrée nécessaires à l'évaluation de la migration des éléments radioactifs. Les résultats de l'ensemble de ces travaux ont démontré la capacité de confinement du Callovo-Oxfordien (très faible perméabilité, faibles coefficients de diffusion, forte capacité rétention pour l'essentiel des radionucléides).

Une fois le milieu de la couche du Callovo-Oxfordien atteint en 2004, un réseau de galeries a été progressivement déployé pour y mener des expérimentations au cœur de la roche. Le creusement et la réalisation des galeries, ainsi que leur suivi, peuvent constituer en tant que tel des expérimentations spécifiques, comme, par exemple pour des essais de creusement par différentes techniques d'excavation (foration/tir à l'explosif, brise roche hydraulique (BRH), machine à attaque ponctuelle (MAP), tunnelier à attaque ponctuelle) associés à différents types de revêtement (revêtement souple, rigide, à boulons radiaux et béton projeté, voussoirs préfabriqués…). L'ensemble des galeries fait l'objet d'un suivi géotechnique (suivi des fronts, convergence, extensométrie). Certaines galeries font l'objet d'un suivi renforcé par des mesures dans des forages creusés à leur périphérie avant excavation et d'une caractérisation détaillée de la fracturation de la roche après excavation.

2.1.2 La poursuite des travaux de reconnaissance pour préparer la construction initiale

Les travaux de reconnaissance se poursuivront en amont de la phase de construction initiale : la campagne de forages profonds ZBS (pour *ZIOS Boreholes Survey*) au cours de laquelle des acquisitions seront réalisées grâce, d'une part, à des mesures sismiques et, d'autre part, des prélèvements issus de quatre plateformes de forages. Cette campagne de forages permettra ainsi de conforter le modèle géologique 3D du Callovo-Oxfordien (géométrie, pétrophysique, valeurs des propriétés intrinsèques THM, hydrauliques et de transfert, champ de contraintes naturelles) et des différentes formations géologiques sus-jacentes au Callovo-Oxfordien (Kimméridgien et Oxfordien carbonaté) pour conforter et quantifier plus précisément les marges prudentes retenues pour la conception de l'installation souterraine.

Au cours de la construction initiale et du développement progressif de l'installation souterraine, le programme de reconnaissance à l'avancement qui sera mis en place lors du fonçage des liaisons surface-fond puis lors du creusement des ouvrages fond porte notamment sur la caractérisation locale *in situ* des propriétés intrinsèques des argilites. Il consiste, entre autres, à réaliser des forages en avancée des fronts de creusement, qui permettront de conforter les propriétés intrinsèques des argilites du Callovo-Oxfordien *in situ* et de caractériser l'endommagement lié au creusement pour conforter le dimensionnement des installations et ouvrages et le domaine couvert par la démonstration de sûreté.

Ainsi, les creusements envisagés pendant la phase industrielle pilote sont associés à de nombreuses caractérisations et mesures des paramètres géotechniques. Ils permettent notamment une reconnaissance géologique de l'ensemble de la zone où seront construits les ouvrages souterrains des cinquante premières années (grande boucle du quartier de stockage MA-VL).

2.2 Les bâtiments/ouvrages en surface

2.2.1 La construction du bâtiment nucléaire de surface EP2 à l'horizon de 2080

Le bâtiment nucléaire de surface EP2 est prévu notamment pour les opérations de réception des colis de déchets, de mise en conteneur puis en hotte en vue de leur stockage dans le quartier de stockage. Ce bâtiment est construit en vue d'une mise en service du quartier de stockage HA à l'horizon de 2080. Il sera déployé vers l'est de la zone descenderie.

Il sera construit à l'emplacement de l'actuel Espace technologique du CMHM (dit bâtiment ETe). En temps voulu, dans une cinquantaine d'années, le bâtiment ETe sera déconstruit pour laisser la place à EP2. L'Andra demandera une modification du périmètre de l'INB.

Une emprise foncière lui est allouée dans le cadre de l'évolution du plan d'aménagement de la zone descenderie et de l'évolution du périmètre foncier de l'installation nucléaire de base Cigéo.

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

Un embranchement ferré du terminal ferroviaire nucléaire est prévu en vue d'orienter les wagons vers le bâtiment nucléaire de surface EP2.

Les travaux de construction de ce bâtiment se feront également au sein d'un périmètre protégé, dit « en chaussette ».

2.2.2 La construction de l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal (ET-H) après la mise en service de l'INB

Des mesures conservatoires sont prises pour la construction de l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal (ET-H) sur la zone descenderie.

Le bâtiment de réception des emballages à déchargement horizontal ET-H est un ouvrage qui sera raccordé au bâtiment nucléaire de surface EP1 après la mise en service de l'INB. L'objectif principal de cet ouvrage est de permettre la réception d'emballages à déchargement horizontal.

Le bâtiment nucléaire de surface EP1 a été étudié dès l'origine dans l'objectif de permettre la jonction d'un ouvrage construit en tranche ultérieure. Cela se concrétise par la possibilité de raccorder l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal ET-H au bâtiment nucléaire de surface EP1 par un tunnel de transfert, positionné afin d'assurer la mutualisation d'un transbordeur entre les deux, assurant ainsi une continuité de la manutention des colis après leur préparation. Par ailleurs, le tunnel de transfert permet également l'extension de certains réseaux depuis le bâtiment nucléaire de surface EP1 (électricité de puissance, contrôle commande et conduite, fluides). Les accès du personnel se font également à partir du bâtiment nucléaire de surface EP1. Ces dispositions concourent à mutualiser au maximum les ressources disponibles.

Les fonctionnalités de l'ouvrage de déchargement des emballages de transport à déchargement horizontal ET-H sont identiques à celles du bâtiment nucléaire de surface EP1.

Les travaux de construction de cet ouvrage se feront au sein d'un périmètre protégé, dit « en chaussette ».

2.2.3 La gestion en surface de l'argilite excavée au fur et à mesure de la construction progressive des tranches

Selon les principes retenus dans le plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance (5), la réutilisation d'une partie des verses est envisagée pour le remblayage de l'installation souterraine dans le cadre de sa fermeture.

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

Parmi les déblais du Callovo-Oxfordien, on distingue :

- les verses dites « vives » qui serviront, après leur traitement, de matériau de remblai pour l'obturation et la fermeture définitive de l'installation souterraine ;
- les verses dites « mortes », qui ne seront pas réutilisées pour la fermeture du stockage.

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

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

L'Andra étudie des moyens de valoriser ces verses à l'extérieur du site. Dans une démarche prudente, l'Andra retient à ce stade l'ensemble de la zone de verses dans le périmètre INB de la demande d'autorisation de création de l'INB.

La figure 2-1 permet de visualiser la zone de gestion des verses. La zone Z1 permet l'implantation des verses vives dès le début de la construction initiale. La zone Z2 est prévue en mesure conservatoire correspondant à l'extension de l'installation souterraine.



Figure 2-1 Illustration de la localisation des verses dans la zone puits

2.3 Les ouvrages communs aux tranches de construction

Pour faciliter le développement progressif, la conception initiale prend en compte les caractéristiques de l'ensemble des colis de l'inventaire de référence pour dimensionner les ouvrages, les structures et équipements associés dans lesquels transitent l'ensemble de ces colis. C'est le cas en particulier :

- de la descenderie de colis et des galeries de liaison et d'accès aux alvéoles de stockage dans lesquels sont transférées toutes les hottes contenant les colis de stockage HA et MA-VL ;
- du funiculaire qui permet le transfert *via* la descenderie colis de tous les colis de stockage HA et MA-VL dans leur hotte de transfert.

2.4 L'installation souterraine

La conception de l'installation souterraine c'est-à-dire l'architecture souterraine, tient compte des données structurantes suivantes :

- livraison débutant par des colis de déchets MA-VL pour les quatre premiers alvéoles du quartier de stockage MA-VL et des colis de déchets HA0 pour le quartier pilote HA après autorisation de la mise en service pendant la Phipil ;
- livraison des colis MA-VL pour les tranches ultérieures du quartier de stockage MA-VL, et des colis de déchets HA1 et HA2 (à l'horizon 2080) ;
- limitation du nombre d'alvéoles ouverts simultanément.

Tout en respectant ces principes directeurs, l'architecture est amenée à évoluer dans le cadre de ce développement progressif, permettant, à l'horizon des différentes tranches de stockage, d'intégrer les avancées scientifiques et technologiques ainsi que d'éventuelles optimisations futures en matière de conception, selon le plan de développement de l'INB Cigéo (2), tout en prenant en compte le retour d'expérience du fonctionnement (cf. Chapitre 3 du présent volume).

2.4.1 Le dimensionnement à une durée d'ordre séculaire du déploiement des tranches

L'installation souterraine est ainsi conçue de façon à permettre la construction puis la mise en service et l'exploitation des ouvrages souterrains par tranches successives sur toute la durée d'ordre séculaire de fonctionnement de l'INB (cf. « Dossier de justification des choix d'architecture souterraine » (9)).

Par ailleurs, ce principe directeur de déploiement progressif des ouvrages souterrains par tranches successives génère nécessairement une concomitance d'activités de travaux et d'activités d'exploitation dans des tranches distinctes (respectivement opérations de construction/installation d'équipements/essais et opérations liées au process nucléaire). L'installation souterraine est donc conçue de façon à éviter la coactivité entre la zone de construction des ouvrages souterrains et celle en exploitation d'autres ouvrages souterrains.

L'installation souterraine est conçue pour une durée du fonctionnement de l'INB d'ordre séculaire. Cette durée d'ordre séculaire implique que la conception de l'installation souterraine soit conçue de façon que les ouvrages souterrains devant être construits puis exploités dès la tranche 1 puissent être exploités et maintenus pendant toute cette durée :

- les liaisons surfaces-fond et les zones de soutien logistique (parties « exploitation » et « travaux »), construites en tranche T1 sont utilisées sur toute la durée de l'exploitation. Elles sont dimensionnées en conséquence ;
- les ouvrages non accessibles et non maintenables (comme les soutènements) sont dimensionnés pour toute la durée du fonctionnement et jusqu'à la fermeture définitive de l'installation souterraine.

2.4.2 La limitation des arrêts d'exploitation

Le principe de déploiement progressif de l'architecture souterraine par tranches construites et mises en service successives se décline de la façon suivante :

- l'implantation des puits dans la partie centrale de la zone d'implantation de l'installation souterraine est privilégiée pour faciliter notamment le déploiement spatial des alvéoles et quartiers de stockage ;
- l'implantation des ouvrages souterrains vise à optimiser l'emprise foncière (délimitée par la ZIOS) et à permettre le déploiement progressif de l'installation souterraine par tranches successives ;
- la durée maximale de construction de chaque tranche de l'installation souterraine est limitée à ce stade à une dizaine d'années, afin de s'inscrire dans le processus de gouvernance par étapes du centre de stockage ;
- un principe d'indépendance des zones exploitation et travaux de l'installation souterraine est assuré et maintenu, permettant de construire et d'équiper les nouveaux ouvrages sans perturber l'exploitation des ouvrages en service (cf. Chapitre 2.4.3 du présent volume) ;
- en lien avec les deux points précédents, l'architecture souterraine est conçue et déployée de façon à réaliser un maximum de travaux et d'essais de qualification en zone travaux, sans impact ou impact limité sur le processus de stockage (en zone exploitation).

2.4.3 La séparation physique des activités de construction et d'exploitation nucléaire

2.4.3.1 Les principes directeurs

Le développement progressif des alvéoles de stockage nécessite une gestion de la coactivité entre les activités de construction, d'installation d'équipements, d'essais et d'exploitation nucléaire. L'objectif est de se prémunir de tout impact sur les personnes et les installations, dans les zones en exploitation et en travaux, causé par la concomitance d'opérations réalisées dans ces deux zones. Ainsi, afin de limiter les risques en termes de sûreté et sécurité liés à cette coactivité au sein de l'installation souterraine, les principes directeurs suivants sont pris en compte pour la conception de l'architecture souterraine (cf. « Dossier de justification des choix d'architecture souterraine » (9)) :

- la mise à disposition au plus tôt des ouvrages de liaison et la réalisation d'une architecture bouclée permettent ainsi d'organiser la séparation des deux activités, notamment dans le quartier de stockage MA-VL. Une « branche » de la boucle MA-VL est ainsi connectée à la zone de soutien logistique travaux et l'autre à la zone de soutien logistique exploitation ;
- les galeries de liaison réalisées lors de la première phase permettent de relier de part et d'autre les zones de soutien logistique travaux et exploitation. Dès lors, le déploiement adopté est un déploiement de type chassant-rabattant bilatéral successif du sud vers le nord ;
- afin d'éviter les croisements de galeries au sein desquelles sont menées différentes activités depuis les zones de soutien logistique, la zone de soutien logistique travaux est implantée au nord de la zone de soutien logistique exploitation et le quartier de stockage MA-VL est déployé du sud vers le nord ;
- pour le quartier pilote HA, toutes les galeries sont creusées préalablement à l'exploitation nucléaire.

Afin de garantir la gestion des travaux en « chantiers clos et indépendants », la prise en compte du principe de sectorisation garantit la protection des travailleurs lors des opérations de construction en zone travaux vis-à-vis des risques d'origine nucléaire ainsi que celle du personnel d'exploitation vis-à-vis des risques induits par les travaux de construction qui interviennent de manière successive (par tranches) a amené à diviser les ouvrages souterrains au fond en deux zones distinctes et séparées physiquement : une zone travaux et une zone exploitation.

Le déploiement est réalisé en assurant une séparation physique et une indépendance du fonctionnement entre la zone souterraine en exploitation et la zone souterraine en travaux (cf. Figure 2-2). Chacune de ces zones est reliée à la surface par une zone de soutien logistique exploitation (ZSLE) pour la zone exploitation et par une zone de soutien logistique travaux (ZSLT) pour la zone travaux. Ces deux zones de soutien logistique sont séparées physiquement et des liaisons surface-fond (descenderies et puits) arrivant selon leur fonction permettent l'exploitation nucléaire ou les travaux dans chacune de ces zones séparées.

2.4.3.2 Les dispositions retenues dès la conception de l'installation souterraine

2.4.3.2.1 Une séparation physique des liaisons surface-fond et des zones de soutien logistique

La conception prend en compte la séparation physique d'une part des transferts de matériaux/personnes en provenance de ces deux zones d'activités et d'autre part des réseaux (fluides et utilités). Cela conduit à retenir deux groupes distincts de liaisons surface-fond (cf. « Dossier de justification de la conception des liaisons surface-fond » (10)) : un groupe nécessaire à l'exploitation nucléaire et un groupe nécessaire aux activités de construction. Cette séparation s'accompagne également d'une séparation physique des réseaux. L'ensemble de ces puits et descenderies est construit dès la phase de construction initiale.

La zone de soutien logistique exploitation qui supporte les activités de la zone souterraine en exploitation est reliée à la zone descenderie en surface par deux descenderies et à la zone puits par deux puits :

- la descenderie dite « descenderie colis » permet le transfert des colis de déchets radioactifs de la surface au fond pour leur mise en stockage. Ce transfert se fait au moyen d'un funiculaire ;
- la descenderie dite « descenderie de service », dédiée aux fonctions d'exploitation permet de réaliser les transferts liés à la maintenance et à l'acheminement de matériels et de matériaux, et pour les interventions d'urgence, à l'évacuation des personnels et d'accès aux secours ;
- le puits permettant l'extraction d'air de la zone souterraine en exploitation ;
- le puits assurant l'apport d'air frais et le transfert du personnel vers la zone souterraine en exploitation.

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

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

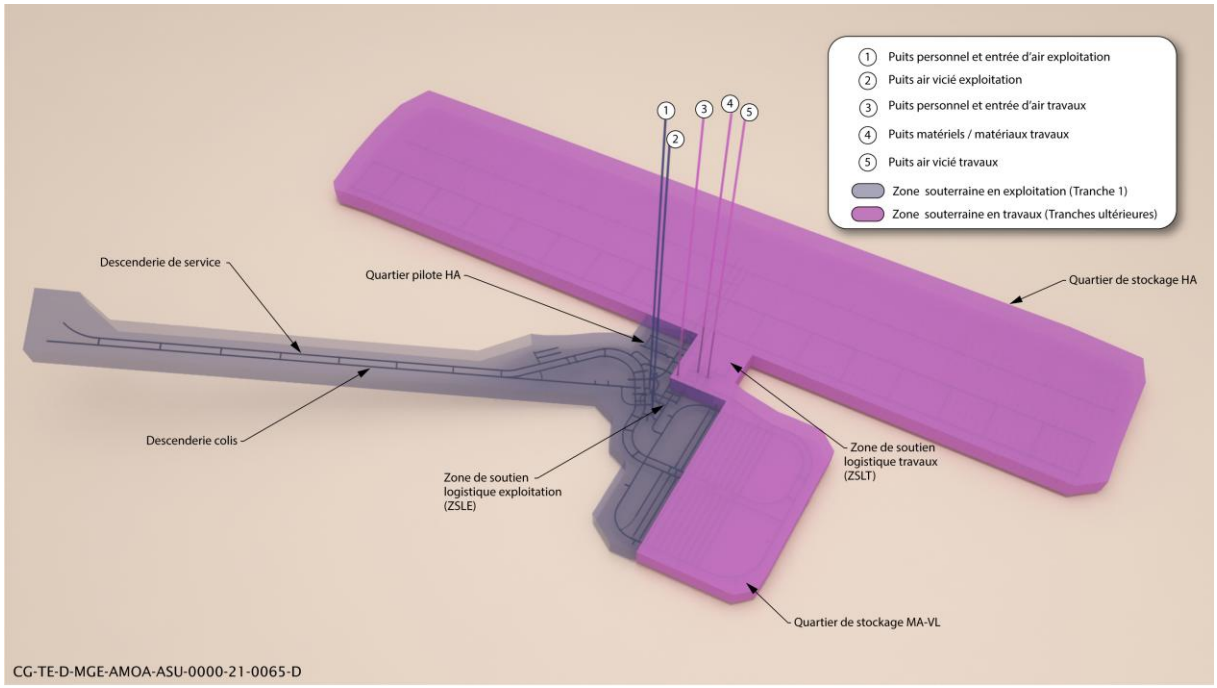


Figure 2-2 *Illustration de principe de séparation des zones souterraines en exploitation et en travaux et les liaisons surface-fond associées (dimensions et proportions non représentatives)*

2.4.3.2.2 Une séparation physique au niveau des quartiers de stockage et gestion du déploiement des tranches d'un quartier

Le quartier pilote HA étant construit dès la phase de construction initiale, il ne nécessite pas de séparation physique.

La séparation physique dans les quartiers entre la zone travaux où sont réalisées les opérations de creusement et la zone en exploitation où sont réalisées les opérations de transfert des colis et d'opérations de mise en stockage (cf. Figure 2-3) est assurée par la présence de sas aux interfaces entre les zones en exploitation et en travaux, dimensionnés afin de garantir les performances attendues en

toute situation (cf. « Dossier de justification des choix d'architecture souterraine » (9)). Le principe de séparation s'applique de façon dynamique à mesure que les activités nucléaires et conventionnelles se déploient dans les ouvrages construits :

- après une première phase de chantier (construction initiale), une partie des ouvrages bascule en zone exploitation alors que les opérations de construction continuent pour réaliser la suite du stockage souterrain. D'autres basculements de zone travaux en zone exploitation ont ensuite lieu durant la phase de fonctionnement ;
- lors du déploiement progressif des opérations de construction, les séparations physiques sont déplacées au fur et à mesure de l'avancement des travaux (activités conventionnelles) et de l'exploitation (activité nucléaire). Durant les phases de déploiement et de basculement d'une phase travaux en une phase exploitation, des dispositions spécifiques sont également mises en œuvre pour gérer la coactivité travaux/exploitation et maîtriser les risques associés.

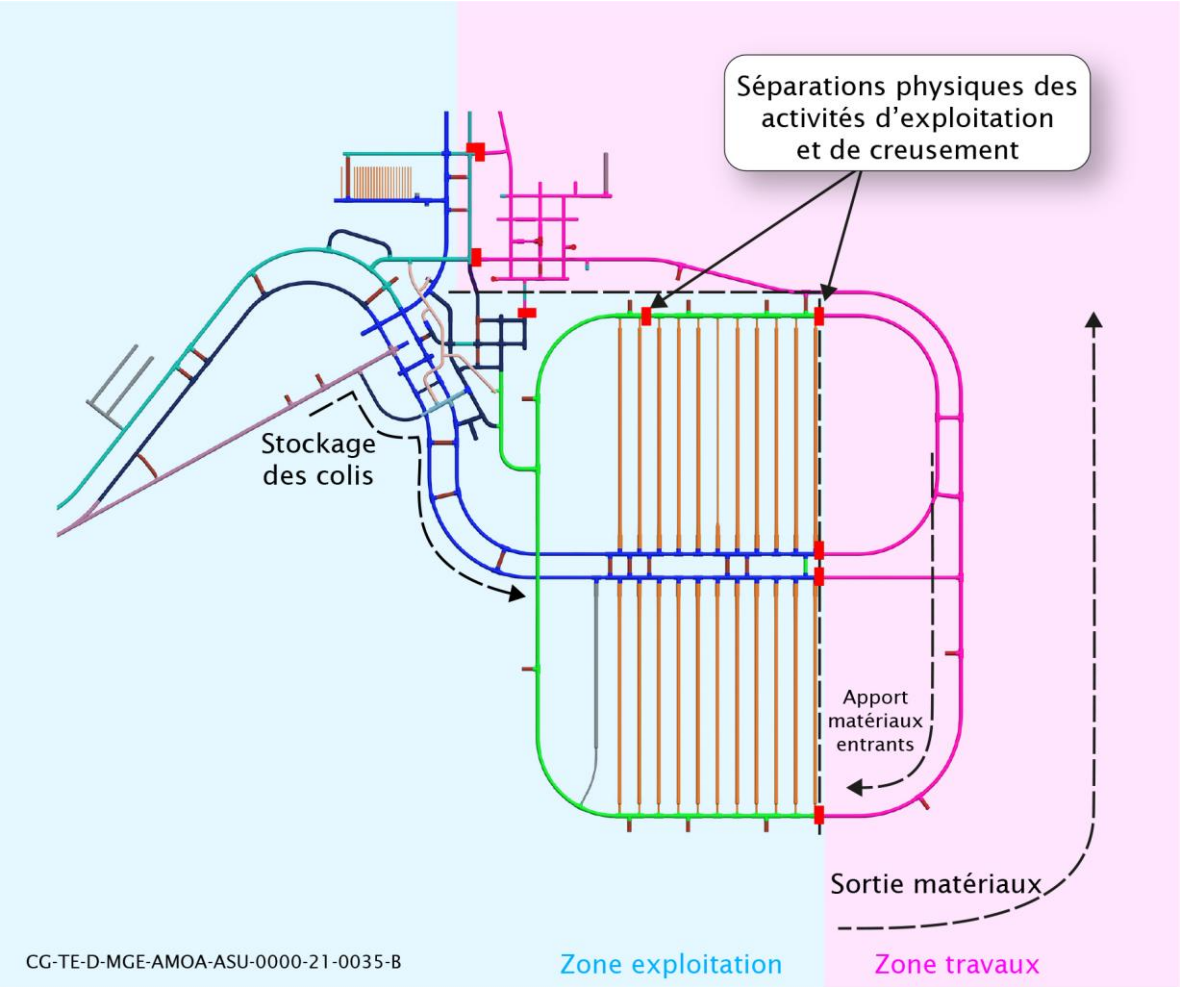


Figure 2-3 *Illustration des interfaces entre les zones en exploitation et en travaux – Quartier de stockage MA-VL*

Le principe de gestion de la coactivité conduit également à la séparation totale des flux entre la zone travaux et la zone exploitation. Notamment, les travaux de construction sont isolés physiquement de la zone en exploitation par un ensemble de barrières de protection physique appelées « séparations travaux exploitation ».

Les activités de creusement sont réalisées à distance de la zone en exploitation, de manière que ces activités et en particulier les éventuels accidents n'aient aucune incidence sur l'exploitation nucléaire :

- des dispositions sont mises en place afin d'assurer l'éloignement des engins du sas et de la zone en exploitation : panneau de signalisation de la présence du sas, dégagement obligatoire de la zone de travaux de 5 mètres par rapport au sas (côté zone travaux) et présence de blocs en béton armé ancrés dans le sol en zone travaux, empêchant les engins de chantier de percuter le sas en interface ;
- ces activités, génératrices de poussières, sont réalisées avec une ventilation adaptée et un dispositif de dépoussiérage pour capter au plus près les particules en suspension et assainir l'air dans les ouvrages souterrains dans la zone travaux.

La conception et mise en place de sas

Les séparations physiques sont réalisées par des sas dans le respect des exigences de sectorisation opérationnelle (séparation physique et sas personnel (avec prise en compte des scénarios d'évacuation et d'intervention), garantissant ainsi leur isolement. Mis à part le sas entre les ZSL, tous les sas sont dimensionnés pour le passage de personnes uniquement. Aucun transfert d'engins motorisés n'est possible. Les sas-refuges sont de deux types : unidirectionnels et bidirectionnels.

2.4.3.2.3 Le sas-refuge bidirectionnel

Un sas-refuge bidirectionnel (cf. Figure 1-3) est composé de deux refuges dont le fonctionnement est totalement indépendant du reste de l'installation. Chaque refuge est spécifique à une zone (travaux ou exploitation) et est connecté par une paroi composée d'une porte. Le sas-refuge bidirectionnel est dimensionné pour permettre l'évacuation du personnel de la zone exploitation vers la zone travaux et inversement. Le passage de véhicule n'est pas permis.



Toutes les utilités et servitudes (alimentation électrique secourue, réseaux courants faibles industriels (CFI), notamment pour le contrôle d'accès, la sonorisation, la vidéo et la téléphonie, etc.) viennent de la zone exploitation, pour le refuge côté zone exploitation comme pour celui dédié à la zone travaux.



2.4.3.2.4 Le sas-refuge unidirectionnel

Un sas-refuge unidirectionnel (cf. Figure 1-4) est composé d'un refuge dont le fonctionnement est totalement indépendant du reste de l'installation. Les sas-refuges unidirectionnels permettent l'évacuation du personnel de la zone travaux vers la zone exploitation uniquement, il n'y a pas de passage de véhicule.



Toutes les utilités et servitudes (alimentation électrique secourue, réseaux CFI, notamment pour le contrôle d'accès, la sonorisation, la vidéo et la téléphonie, etc.) viennent de la zone exploitation, pour le refuge côté zone exploitation comme pour celui dédié à la zone travaux.

2.4.3.2.5 Le sas véhicule

Un complexe sas véhicule/refuge unidirectionnel (cf. Figure 1-5) est installé en permanence en zone de soutien logistique exploitation. Ce sas permet le transfert exceptionnel de matériel (issu du procédé de transfert des hottes) entre zone exploitation et zone travaux, ainsi que l'évacuation du personnel de la zone travaux vers la zone exploitation uniquement. Le sas est composé d'un passage qui n'est pas franchissable dans les conditions habituelles de fonctionnement.



Le programme d'équipements du refuge unidirectionnel est similaire à celui des sas bidirectionnels. Afin de permettre une reconfiguration facile lorsque l'on souhaite utiliser le sas véhicule (passage exceptionnel programmé de véhicule/gros équipements entre zone exploitation et zone travaux), les équipements du refuge sont montés sur skid ou sont facilement déplaçables (*e.g.* bancs).

2.5 Le dimensionnement et la démonstration de sûreté couvrant l'ensemble des tranches

Le dimensionnement des installations et ouvrages en surface et ouvrages souterrains de l'INB Cigéo est fondé sur l'inventaire des colis de déchets HA et MA-VL (nombre/volumes) et les caractéristiques physico-chimiques de ces colis.

Le bâtiment nucléaire de surface EP1 est construit dès la phase de construction initiale. Le dimensionnement et la démonstration de sûreté sont donc établis sans distinction d'une construction progressive.

En ce qui concerne les quartiers de stockage, les principes retenus sont les suivants :

- le quartier pilote HA est construit dès la phase de construction initiale et en une seule fois et le dimensionnement des alvéoles est le même pour tous les colis stockés ;
- le quartier de stockage HA est construit en plusieurs tranches. Il comprend des colis HA1/HA2 dont la puissance thermique doit décroître en entreposage avant leur mise en stockage en vue d'une mise en service du quartier à l'horizon de 2080 :
  - ✓ le dimensionnement des alvéoles HA et la démonstration de sûreté s'appuient à ce stade sur des principes similaires à ceux retenus pour le quartier pilote HA ;
  - ✓ d'ici la construction, des optimisations de la solution retenue et la démonstration de sûreté seront réexaminées à l'aune des avancées de connaissances technologiques et du REX de l'exploitation et de la surveillance notamment du quartier pilote HA selon un plan de développement (cf. Chapitre 3 du présent volume) ;

- le quartier de stockage MA-VL est également construit en plusieurs tranches :
  - ✓ le dimensionnement des alvéoles MA-VL est aussi fondé sur un principe de standardisation (même diamètre par exemple) et des grandeurs caractéristiques des colis de déchets ;
  - ✓ pour le cas spécifique des colis de déchets bitumés, dans une démarche prudente, l'Andra ne prévoit pas que soient stockés ces colis dans les premiers alvéoles mis en service :
    - deux voies de gestion sont à ce stade envisagées ;
    - les études de conception et de sûreté intègrent deux voies de gestion des déchets bitumés, au titre de la flexibilité : la conception des alvéoles de stockage est établie selon la voie de gestion retenue (cf. Volume 11 du présent rapport) ;
    - dans une approche prudente, le bâtiment nucléaire de surface étant construit dès la phase de construction initiale, son dimensionnement et sa démonstration de sûreté associée considèrent la voie de gestion la plus impactante (c'est-à-dire la réception de colis de déchets bitumés en vue de leur stockage).

La démonstration de sûreté est par ailleurs fondée sur la maîtrise des risques en exploitation et après fermeture de l'INB pour toute la durée de son fonctionnement ainsi qu'à long terme après fermeture. Elle s'appuie sur des grandeurs caractéristiques en lien avec les risques. Après fermeture, la démonstration de sûreté cible l'impact du stockage une fois le développement progressif de la construction terminé et l'ensemble des colis stockés et l'installation souterraine remblayée et scellée (cf. Volume 8 du présent rapport).

2.5.1 Un inventaire de référence

En réponse au 3e alinéa de l'article D. 542-91 du code de l'environnement, la demande d'autorisation vise la création de l'INB Cigéo pour accueillir les colis de déchets de l'inventaire de référence (cf. « Inventaire de référence retenu pour la conception et la démonstration de sûreté de l'INB Cigéo au stade des études d'avant-projet » (11)), à savoir des colis de déchets de haute activité (environ 10 000 m^3) et moyenne activité à vie longue (environ 73 000 m^3) issus des installations nucléaires actuellement autorisées.

Il est fondé sur le scénario de renouvellement du parc actuel (scénario SR2 décrit dans la « Démarche d'élaboration des inventaires de l'INB Cigéo » (12)) et est composé des déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue des installations nucléaires actuellement autorisées, conditionnés en colis primaires.

L'inventaire de référence des colis primaires constitue la base de la conception initiale de l'ensemble des installations et ouvrages de l'INB Cigéo et de la démonstration de sûreté associée faisant l'objet du présent rapport.

Il ne se limite pas aux colis de déchets de la première tranche mais à l'ensemble des familles de déchets qui sera stocké de la première mise en service pendant la Phipil à la dernière tranche mise en service pendant la phase de fonctionnement quel que soit leur état de production au moment de la conception (déjà produits, en cours de production, à produire).

Des marges sont prises en compte pour couvrir des incertitudes sur le volume de déchets futurs à produire ou de déchets anciens qui doivent faire l'objet d'opérations de reprise et conditionnement (RCD), sur les modalités de conditionnement et les caractéristiques de certains déchets, tout en restant à l'intérieur du périmètre défini précédemment pour le scénario industriel des producteurs en matière d'installations, de durées d'exploitation et de filières de gestion des déchets.

La détermination des marges sur les inventaires fournis en support à la conception de l'INB est de la responsabilité des producteurs ou de leur collecteur (Andra) lorsqu'il s'agit de déchets provenant de l'industrie non électronucléaire. La justification de ces marges fait l'objet d'échanges entre l'Andra et les producteurs. Les marges d'inventaire sont estimées par les producteurs selon les principes suivants :

- colis dont la production est terminée : aucune marge n'est ajoutée à l'inventaire ;
- colis dont la production est en cours : des marges sont adoptées au cas par cas lorsqu'il existe des incertitudes sur les quantités de déchets à conditionner à l'avenir ou sur la concentration des déchets dans les colis à produire. Ce peut être le cas par exemple de colis au contenu très variable (typiquement des colis de déchets technologiques) ;
- colis résultant des opérations de reprise et conditionnement de déchets anciens (RCD) entreposés sous forme brute ou à reconditionner ou produits par des installations nouvelles de traitement de déchets ou d'effluents : dans le scénario industriel des producteurs, les nombres de colis à produire par de nouvelles installations de conditionnement ou résultant du conditionnement des déchets anciens sont estimés par le producteur en fonction de l'état d'avancement de son programme de reprise de déchets ou de mise en service d'installations ;
- colis à produire par les opérations de démantèlement non encore engagées : le nombre des colis de déchets qui seront produits par le démantèlement des différentes installations prend en compte une marge du fait d'incertitudes sur l'estimation des opérations nécessaires au démantèlement, sur le volume de déchets bruts affecté finalement à chaque filière de gestion, ainsi qu'aux modalités futures de conditionnement comme ci-dessus.

Pour chaque famille élémentaire, l'inventaire de référence retenu (11), apporte les justifications des marges retenues par les producteurs.

L'établissement du socle de connaissances sur l'ensemble des familles permet aux études de conception initiale de dimensionner en particulier les installations/ouvrages/équipements communs aux opérations de manutention des colis.

2.5.2 Un niveau de connaissance de l'ensemble des familles de l'inventaire pris en compte

Comme indiqué dans le volume 3 du présent rapport, les colis de déchets sont regroupés en familles[4] élémentaires de colis présentant une variabilité importante de caractéristiques géométriques, physico-chimiques et radiologiques. Ces caractéristiques sont fournies par les producteurs et suivent un processus d'analyse et d'instruction par l'Andra afin de constituer une base de connaissances sur les colis primaires de déchets radioactifs, déjà produits ou à produire pour l'ensemble de la durée du fonctionnement.

Toutes les familles de colis de déchets ne seront pas reçues sur l'INB dès la première mise en service. La conception et la démonstration de sûreté ne se limitent toutefois pas à cette première mise en service et considèrent donc l'ensemble des colis de l'inventaire de référence et en particulier leur niveau de connaissances au stade de la conception initiale.

En effet, le niveau de connaissances peut être disparate entre les familles de colis pour deux raisons principales :

- l'avancement de la définition du conditionnement des colis de déchets ;
- la période de production des colis de déchets. En effet, certaines familles de colis, notamment de productions anciennes, peuvent nécessiter de retenir des marges plus importantes au regard de la difficulté à disposer de connaissances robustes. La mise en œuvre de caractérisations spécifiques par les producteurs peut néanmoins permettre d'améliorer significativement le niveau de connaissance.

[4] Pour rappel, une famille de colis représente un ensemble de colis présentant des caractéristiques (notamment procédé de fabrication, contenu chimique et radiologique, puissance thermique, niveau d'irradiation) similaires, au regard des utilisations qui sont faites de ces caractéristiques.

Ainsi pour certaines familles, la démonstration de sûreté fera l'objet d'un réexamen des hypothèses retenues à ce stade voire de compléments sur la base de l'acquisition des éléments de connaissance le moment venu. C'est le cas notamment :

- des colis de déchets bitumés pour lesquels deux voies de gestion et donc deux modes de stockage sont envisagés (cf. Volume 11 du présent rapport) ;
- des colis HA et MA-VL dont le conditionnement n'est pas arrêté (des hypothèses de conditionnement sont retenues à ce stade et présentées dans le volume 3 du présent rapport). Leur mise en stockage ne pourra être opérationnelle qu'une fois le conditionnement approuvé par l'autorité de sûreté et de radioprotection (cf. Décision de 2017-DC-0587 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acception des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage (13)).

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

Vis-à-vis de la phase de fonctionnement, les grandeurs caractéristiques sont définies par type de colis de stockage et au regard des fonctions de sûreté à assurer : protection contre les rayonnements ionisants, confinement des substances radioactives, sûreté-criticité, évacuation de la puissance thermique et évacuation des gaz de radiolyse.

Elles sont définies sur la base des connaissances sur les colis produits ou en cours de production[5]. Elles ont pour objectif de couvrir l'essentiel des données correspondantes figurant dans le socle de connaissances de l'Andra.

Ainsi, les familles présentant un nombre réduit de colis aux caractéristiques pouvant conduire à un dimensionnement disproportionné au regard du nombre de colis concernés ne sont pas prises en compte dans le dimensionnement global de l'installation. Elles sont dénommées par la suite familles particulières de colis de déchets et sont identifiées de manière distincte pour chaque risque. Pour ces familles de colis, des dispositions spécifiques sont prévues en tant que de besoin et la démonstration de sûreté, présentée dans le présent rapport, les prend bien en compte.

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

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

Vis-à-vis de la phase après fermeture, des grandeurs caractéristiques sont également établies vis-à-vis de leur impact direct sur le dimensionnement des ouvrages souterrains :

- la puissance thermique des déchets : celle-ci peut induire pendant une certaine période, une perturbation thermique du Callovo-Oxfordien. Elle est à l'origine de dispositions pour en limiter les conséquences sur les argilites et pour la maîtrise du comportement des radionucléides ;
- la présence de substances dans certains déchets MA-VL, en particulier des substances organiques complexantes et des sels : elles sont susceptibles d'induire des perturbations chimiques modifiant les propriétés de transport et rétention (solubilité et sorption) du Callovo-Oxfordien ;
- la présence d'isotopes fissiles : elle est susceptible en cas d'excursion critique de modifier diverses caractéristiques favorables du Callovo-Oxfordien.

Par ailleurs, l'évaluation de la sûreté après fermeture est réalisée sur la base d'une projection des ouvrages souterrains à la fin de la phase de fonctionnement et une fois fermés définitivement (cf. Volume 8 du présent rapport) pour vérifier que les incidences sur l'homme et l'environnement à long terme respectent les objectifs de protection. Cette évaluation s'appuie sur l'établissement de l'inventaire radiologique dit « inventaire à terminaison margé » prenant en compte des facteurs de marges en regard du niveau de connaissance des familles de colis déchets de l'inventaire.

2.5.3 L'ensemble des modes de stockage considérés

Dès la conception initiale, les solutions techniques retenues pour mener les opérations de manutention prennent en compte l'ensemble des modes de stockage envisagés à ce stade sur la durée de fonctionnement de l'INB.

Ainsi, les colis primaires HA qui seront stockés dans le quartier pilote HA dès la mise en service de l'INB Cigéo sont mis en conteneur de stockage en acier noir soudé préalablement à leur stockage, tout comme le sont les colis qui seront stockés dans le quartier de stockage HA.

Les colis primaires de déchets MA-VL peuvent être stockés selon deux modes de stockage :

- le stockage de colis primaire directement en alvéole de stockage (également dénommé « stockage direct »), qui concerne certaines familles de colis pour lesquelles le colis primaire satisfait aux fonctions attribuées à un colis de stockage avec un conteneur de stockage. Pour le stockage direct, deux sous-configurations sont possibles :
  - ✓ le stockage du colis primaire directement ;
  - ✓ le stockage du colis primaire en panier de stockage pour permettre la manutention de plusieurs colis primaires dans un même panier et donc limiter les flux de transfert.
- le stockage de colis primaire de déchets MA-VL après mise en conteneur de stockage, avec deux sous-configurations possibles :
  - ✓ le stockage en conteneur standard ;
  - ✓ le stockage en conteneur renforcé vis-à-vis du confinement.

Le stockage direct et le stockage après mise en conteneur de stockage des colis de déchets MA-VL seront mis en œuvre dès la première mise en service de l'INB. Le retour d'expérience de ces deux modes de stockage sera intégré dans les tranches ultérieures.

2.5.4 Des spécifications d'acceptation des colis établies pour l'ensemble des colis de l'inventaire de référence

La « Pièce 19 - Version préliminaire des spécifications d'acceptation des colis » (4) du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) établit les critères spécifiés aux colis primaires.

Résultant d'une démarche qui relie la connaissance des colis de déchets radioactifs, la conception et la démonstration de sûreté associée, la pièce 19 présente des spécifications d'acceptation par quartier de stockage (quartier de stockage MA-VL, quartier pilote HA et quartier de stockage HA) et par mode de stockage (stockage des colis primaires HA et MA-VL après mise en conteneur de stockage dans l'INB, stockage des colis primaires MA-VL directement en alvéole).

Disposer de spécifications d'acceptation couvrant l'ensemble de l'installation souterraine dès la phase de conception permet de faciliter l'acceptation future des colis. En effet, ces spécifications d'acceptation fournissent le cadre dans lequel les producteurs de déchets doivent s'intégrer permettant d'une part d'éviter des arrêts lors du déploiement et d'autre part de faciliter le développement de futurs conditionnements en cohérence avec la conception des premières tranches.

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

3

Le plan de développement des installations et ouvrages en lien avec le déploiement progressif

3.1 L'objet du plan de développement 38
3.2 La préparation de la mise en service pendant la phase industrielle pilote 40
3.3 La préparation de la mise en service des tranches ultérieures pour le stockage des déchets HA et MA-VL 44
3.4 La préparation de la fermeture 46

3.1 L'objet du plan de développement

La « Pièce 20 - Plan de développement de l'installation de stockage Cigéo » (PDIS) (2) est une des pièces du dossier de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo. Elle n'est pas appelée par le code de l'environnement et son origine se trouve dans la démarche itérative d'élaboration de la conception et de la démonstration de sûreté associée, notamment à l'issue de l'instruction du dossier d'options de sûreté présenté par l'Andra à l'ASN en 2016. Plus précisément, le PDIS fait suite à l'avis n°2018-AV-0300 du 11 janvier 2018 de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (14) et au courrier du 12 janvier 2018 (15) dans lesquels l'ASN s'exprime sur le niveau de détail attendu pour la demande d'autorisation de création en matière de démonstration de sûreté. Le PDIS répond également à la recommandation R14 de l'avis de l'Autorité environnementale (16) sur le centre de stockage Cigéo, émise dans le cadre du dossier de demande de déclaration d'utilité publique (DUP), déposé par l'Andra en août 2020.

La version préliminaire du rapport de sûreté, à laquelle est associée l'étude de maîtrise des risques[6], présente la démonstration de la sûreté en fonctionnement et après fermeture de l'INB Cigéo, conçue pour stocker les déchets prévus dans l'inventaire de référence. L'INB Cigéo étant une installation qui se développera de façon progressive sur une durée d'ordre séculaire, la présente demande d'autorisation de création présente un niveau de définition plus détaillé pour les premiers ouvrages exploités, appelés « tranche 1 », par rapport aux autres phases de développement.

Le PDIS s'appuie en particulier sur les stratégies retenues pour le développement de l'installation nucléaire, le déploiement des mises en services successives et la fermeture proposés dans la « Pièce 16 - Plan directeur de l'exploitation » (1).

Le PDIS présente de façon documentée la feuille de route des activités de type ingénierie et des activités scientifiques et technologiques (études et recherche) de l'Andra en support aux prochaines grandes étapes de développement après le dépôt du dossier de DAC, jusqu'à la fermeture définitive de l'INB Cigéo. Ce document technique et programmatique présente, dans une logique de développement détaillé et d'amélioration continue, les études et essais prévus après le dépôt du dossier de DAC. Il couvre donc à la fois des aspects classiques du développement d'une installation nucléaire jusqu'à sa mise en service (qualification par exemple) et des aspects spécifiques au développement progressif de l'INB Cigéo.

Les études et essais décrits dans le PDIS seront réalisés en soutien au développement technique de l'INB Cigéo, à sa construction et à son fonctionnement progressif, puis en soutien à la logique de sa fermeture. Les résultats de ces études et essais seront intégrés en particulier aux réexamens de la démonstration de la sûreté de l'installation, en lien avec les jalons d'autorisation successifs prévus par la réglementation.

Le PDIS présente ainsi un ensemble d'études et d'essais, dont le niveau de détail est proportionné aux enjeux associés et aux échéances à plus ou moins long terme. Il s'agit :

- d'études et essais prévus en amont de la construction, en lien avec la réalisation opérationnelle initiale ;
- d'études et essais pendant la phase industrielle pilote, notamment jusqu'à la mise en service de la tranche 1, en lien notamment avec les éléments qui permettront de conforter la démonstration de sûreté ;
- d'études et essais en lien avec les optimisations de conception envisagées pour les mises en service ultérieures d'alvéoles du quartier de stockage MA-VL ;
- d'études et essais en lien avec les optimisations de conception envisagées pour les mises en service d'alvéoles du quartier de stockage HA à l'horizon 2070-2080 ;

[6] Selon l'article 5. 593-19 « *L'étude de maîtrise des risques mentionnée au 8° du I de l'article R. 593-16 présente, sous une forme appropriée pour accomplir les consultations locales mentionnées à l'article R. 593-21 et, le cas échéant, à l'article R. 593-22 ainsi que l'enquête publique prévue à l'article L. 593-8, l'inventaire des risques que présente l'installation projetée ainsi que l'analyse des dispositions prises pour prévenir ces risques et des mesures propres à limiter la probabilité des accidents et leurs effets tels qu'ils figurent dans la version préliminaire du rapport de sûreté.* ».

- d'études et essais en lien l'approche envisagée pour la fermeture de l'installation ;
- d'études et essais en lien avec les enjeux sur la flexibilité (cas des bitumes notamment) et sur l'adaptabilité.

Les résultats des études et essais, acquis au fil du développement du stockage, dès l'engagement de sa construction, permettront, sur la base d'un retour d'expérience permanent, de conforter la démonstration de sûreté et la conception des tranches à réaliser (et à autoriser) ultérieurement.

Le PDIS sera mis à jour régulièrement, en lien avec :

- les jalons décisionnels (décret d'autorisation de création de l'installation nucléaire, mise en service de l'installation nucléaire pendant la phase industrielle pilote (Phipil), etc.) ;
- le retour d'expérience pendant le déploiement progressif de l'installation nucléaire de base Cigéo (le retour d'expérience du fonctionnement et de la surveillance du quartier pilote HA et des quatre premiers alvéoles MA-VL, etc.) ;
- les avancées technologiques (le retour d'expérience des essais au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, le retour d'expérience des démonstrateurs, les avancées sur la conception des ouvrages de fermeture, les avancées sur les études relatives aux colis de déchets bitumés menées par l'Andra et les producteurs, etc.).

Les possibles évolutions de la politique en matière de stratégie énergétique pourront également avoir une incidence et entraîner des évolutions dans les éditions successives du PDIS, en lien avec les processus d'autorisation requis.

» LE PLAN DE DÉVELOPPEMENT S'APPUIE SUR DES ACQUIS DE CONNAISSANCES ET LA DÉMONSTRATION DE SÛRETÉ APPORTÉE À LA PRESENTE DEMANDE D'AUTORISATION DE CRÉATION ET S'ADAPTE AUX PHASES TEMPORELLES DE L'INSTALLATION NUCLÉAIRE DE BASE CIGÉO ET À LA RÉVERSIBILITÉ

Le plan de développement se fonde sur les acquis de connaissances scientifiques et technologiques, un niveau de description de l'installation nucléaire en lien avec son déploiement progressif et les enseignements de la démonstration de sûreté associée au stade de la demande d'autorisation de création.

Il rappelle les acquis de connaissance issus de plus de vingt années d'études permettant de mettre en perspective les différents éléments techniques au regard de leurs enjeux (sûreté, etc.).

Il présente les études (consolidation de la connaissance scientifique et technologique, précision et optimisation de la conception, confortation de la sûreté) en regard des objectifs suivants :

- préparer la mise en service de l'installation nucléaire de base Cigéo pendant la phase industrielle pilote ;
- préparer la mise en service des tranches ultérieures pour le stockage des déchets HA et MA-VL, dont la mise en service des alvéoles pour le stockage des colis de déchets bitumés et la décision au préalable de choix du mode de stockage retenu, le cas échéant en intégrant des optimisations ;
- préparer la fermeture de l'installation souterraine (bien qu'elle soit lointaine) en réponse à l'objectif fondamental de protection de l'homme et l'environnement après fermeture à long terme.

3.2 La préparation de la mise en service pendant la phase industrielle pilote

La phase de conception initiale a permis d'acquérir les éléments concernant en particulier l'environnement et la conception, le dimensionnement et le fonctionnement de l'installation pour la tranche 1.

Parmi l'ensemble des actions présentées dans le PDIS en lien avec les objectifs visés (cf. s*upra*), le présent chapitre cible et synthétise les actions de consolidation de données pour la construction des installations et ouvrages pendant la phase de construction initiale puis en vue de la construction des tranches ultérieures.

3.2.1 La consolidation des données sur l'environnement de surface et le milieu géologique pour conforter le dimensionnement des ouvrages à construire en surface et la géométrie de la ZIOS

L'ensemble du corpus de connaissances acquis depuis le lancement des études sur le site de Meuse/Haute-Marne en 1994 permet de disposer d'une compréhension fine de l'environnement et des caractéristiques des formations géologiques concernées (Calcaires du Barrois, Kimméridgien, Oxfordien carbonaté, Callovo-Oxfordien et Dogger).

L'évaluation environnementale étant un processus continu, les actions relatives à la caractérisation de l'environnement se poursuivent au cours des différentes phases de vie de l'installation en particulier dans le cadre du programme de surveillance de l'environnement (cf. « Pièce 6 - Étude d'impact du projet global Cigéo » (17)). Ainsi :

- la caractérisation des cours d'eau et la bonne connaissance de l'état initial des milieux (hydrologique et hydro-morphologique notamment) se poursuivent en termes de quantification ;
- en complément, un déploiement de stations hydrauliques complémentaires et de sondages piézométriques additionnels des cours d'eau concernés par le projet sera effectué. Ceci permettra notamment de compléter la caractérisation des cours d'eau et des zones humides avérées.

Dans le cadre de l'acquisition continue des connaissances, afin de conforter les différents modèles de représentation et de comportement hydrogéologique retenus dans les évaluations des incidences environnementales des installations de surface ainsi que pour la conception et le dimensionnement de ces installations :

- les études se poursuivent sur la caractérisation et la modélisation hydrogéologique des Calcaires du Barrois sans préjuger des difficultés inhérentes à une représentation précise de ce type de formation karstique ;
- elles visent en particulier à conforter et préciser la représentation locale des écoulements d'eau et de transport de solutés dans la formation des Calcaires du Barrois où seront implantées les installations de surface, en particulier la zone descenderie, au regard de la maîtrise et de la limitation des incidences potentielles.

Par ailleurs, le corpus de connaissances acquis par l'Andra suite à plus de vingt années d'études des formations géologiques sus- et sous-jacentes du Callovo-Oxfordien se traduit par une connaissance approfondie des caractéristiques géométriques et des propriétés de l'Oxfordien carbonaté, des marnes du Kimméridgien et du Dogger (cf. Volume 4 du présent rapport).

Dans le cadre de la démarche d'amélioration continue des connaissances et de leur intégration progressive dans les modèles retenus dans les évaluations de sûreté, les actions relatives à la poursuite de la caractérisation du comportement hydrogéologique de ces différentes formations concernent principalement :

- l'étude du comportement hydrogéologique de l'Oxfordien carbonaté afin de conforter le modèle de comportement hydrogéologique des aquifères encaissants à l'actuel ;
- la confortation des modèles d'écoulements à grande échelle sur le million d'années.

Cette confortation s'appuiera sur les résultats de caractérisation réalisée dans le cadre de la campagne de forages profonds ZBS (pour ZIOS *Boreholes Survey*). Le modèle hydrogéologique retenu dans les évaluations de sûreté sera ainsi mis à jour avec les données obtenues qui permettront de préciser les propriétés des formations (profondeur et épaisseurs, paramètres hydrauliques) dans les modèles géologique et hydrogéologique. Notamment, un travail important sera mené sur le Dogger, formation aquifère encaissante sous-jacente au Callovo-Oxfordien, afin de préciser les propriétés hydrauliques et l'extension latérale des niveaux poreux et perméables dans le modèle hydrogéologique.

La mise à jour de ce modèle se poursuivra avec la reconnaissance à l'avancement lors de la phase de construction initiale de l'installation souterraine et la prise en compte du comportement hydrogéologique des formations géologiques traversées par les liaisons surface-fond en lien avec la conception de leurs revêtements (étanchéité, etc.).

Enfin concernant la couche géologique du Callovo-Oxfordien, l'Andra, grâce à plus de 20 ans d'études de caractérisation, a une connaissance approfondie et robuste sur ce composant important pour la protection (cf. Volumes 4 et 8 du présent rapport). Ces connaissances donnent une représentation d'ensemble cohérente du Callovo-Oxfordien, notamment sur les plans sédimentologique, structural, hydrogéologique, géomécanique, géochimique et de transfert des solutés. Ces éléments de caractérisation du milieu géologique et de son évolution ont été acquis par des mesures indirectes (acquisitions sismiques) et des études géologiques (forages, cartographie) qui ont été menées à des distances allant jusqu'à plusieurs kilomètres des futures installations. Ainsi, dans l'objectif d'amélioration continue, cela conduit à la réalisation d'études concernant le Callovo-Oxfordien sain et le Callovo-Oxfordien endommagé mécaniquement en champ proche des ouvrages souterrains :

- les caractéristiques de la couche du Callovo-Oxfordien sain (*i.e.* non perturbée) (géométrie de la couche, minéralogie, propriétés THM, etc.), les modèles de comportement et les domaines de valeurs des paramètres des modèles ;
- les caractéristiques de la zone endommagée mécaniquement du Callovo-Oxfordien autour des ouvrages souterrains (extension, propriétés, etc.), les modèles de comportement et les domaines de valeurs des paramètres des modèles.

Par ailleurs, les études relatives au Callovo-Oxfordien portent également sur la poursuite du développement de dispositifs géophysiques de surveillance non destructive de la roche en réponse à la stratégie de surveillance (cf. Volume 8 du présent rapport et « La stratégie de surveillance de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo » (18).

Concernant les paramètres géométriques du Callovo-Oxfordien, dans le cadre de la définition (implantation) de l'architecture de l'installation souterraine, il s'agit de préciser les profondeurs du toit et du mur du Callovo-Oxfordien et celles des surfaces internes caractéristiques de ses différentes sous-unités géologiques, son épaisseur et celle entre le niveau des ouvrages et les limites (toit et mur) de la formation au regard des incertitudes résiduelles. Au cours de la phase de construction initiale, le programme de reconnaissance à l'avancement sera mis en place lors du fonçage des liaisons surface-fond puis lors du creusement des ouvrages fond avec un des volets portant sur la caractérisation locale *in situ* des propriétés intrinsèques du Callovo-Oxfordien sain (*e.g.* non perturbé). Ce volet consiste entre autres à réaliser des forages en avancée des fronts de creusement, qui permettront de conforter les propriétés intrinsèques du Callovo-Oxfordien *in situ*.

Concernant les conteneurs de stockage et les paniers (pour certaines familles de colis de déchets MA-VL en stockage direct), les principales options de conception des conteneurs de stockage HA et MA-VL en termes de choix des matériaux constitutifs, de géométrie, de dimensions et de masse, et de modes de manutention ont été définis en 2005. Cela a permis de démarrer le développement industriel des conteneurs à la suite de l'instruction de ce dossier dont les résultats de ce développement ont été présentés dans le cadre des options de sûreté. Les travaux seront menés en termes d'industrialisation du process de fabrication des conteneurs de stockage MA-VL. Le développement des paniers de stockage[7] a débuté avec les options de sûreté, lorsque l'option du stockage direct de certaines familles de colis de déchets a été retenue. Un premier dimensionnement a permis de valider la faisabilité d'utilisation des paniers (cf. Volume 5 et Volume 9 du présent rapport). Les travaux seront poursuivis pour optimiser leur design avec un double objectif de réduction de la masse d'acier dans le stockage et de coût.

3.2.2 La préparation de la mise en service de la première tranche du quartier de stockage MA-VL

Les avancées technologiques étudiées pour les quatre premiers alvéoles MA-VL concernent principalement leurs modalités de creusement. Actuellement, dans le cadre du dossier de demande d'autorisation de création, les alvéoles MA-VL sont réalisés au moyen d'un tunnelier à attaque ponctuelle (TAP). L'emploi de cette méthode répond à l'ensemble des exigences de fonctionnement, de sécurité, etc., attendues. Néanmoins, des études sont menées pour évaluer les apports de l'utilisation d'un tunnelier « pleine face » (ou *Tunnel Boring Machine* (TBM)) « démontable et/ou rétractable ». La possibilité d'utiliser un même tunnelier permettant d'adapter le diamètre des alvéoles sera également analysée. Cela pourrait permettre d'optimiser l'ajustement du volume de Callovo Oxfordien excavé et du volume de béton du génie civil de l'alvéole à la géométrie des colis stockés. Ainsi, un programme industriel sera mis en place afin d'apporter des éléments probants pour le développement industriel et technologique d'un concept de tunnelier aisément démontable avec manutention et translation de ses sous-ensembles.

Par ailleurs, la confortation de la faisabilité de la construction des alvéoles de déchets MA-VL se poursuit avec un développement par étapes avec tout d'abord la poursuite des études menées dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne puis, lors de la phase de construction initiale, la réalisation d'un démonstrateur de constructibilité, in situ et dans les conditions industrielles de l'installation, positionné en entrée du quartier de stockage MA-VL côté sud comme indiqué en figure ci-après.

[7] Pour rappel, le panier permet de manutentionner plusieurs colis primaires à la fois et de les gerber (*i.e.* les empiler).

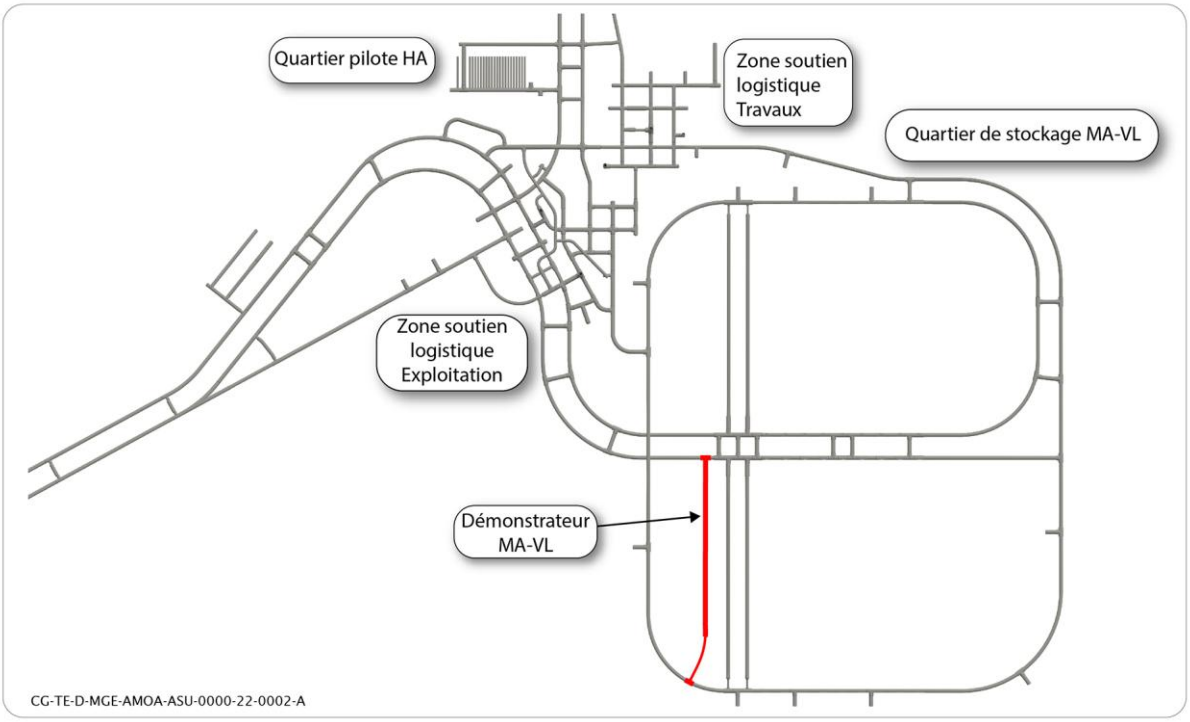


Figure 3-1 *Illustration de la localisation du démonstrateur de constructibilité d'un alvéole MA-VL réalisé en tranche 1 dans le quartier de stockage MA-VL*

Il sera réalisé au tunnelier et permettra ainsi de valider la faisabilité *in situ* du montage et du démontage du tunnelier en alvéole MA-VL. Dans la continuité du fonctionnement de l'installation nucléaire de base Cigéo, le statut de cet ouvrage évolue de celui de démonstrateur de constructibilité vers celui d'un alvéole témoin (cf. « La stratégie de surveillance de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo » (18)).

3.2.3 La préparation de la mise en service du quartier pilote HA

Dans la continuité de l'ensemble des actions menées jusqu'à ce jour, la confortation de la constructibilité et de la qualification du fonctionnement des alvéoles du quartier pilote HA dans les conditions industrielles attendues de l'installation nucléaire de base Cigéo se poursuit, en particulier au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, au travers de la réalisation de « prototypes » de l'alvéole HA complet et équipé prenant en compte les éléments de conception de la tête de l'alvéole au regard des fonctionnalités attendues et du système de prélèvement et de balayage de l'atmosphère interne de l'alvéole.

Par la suite, lors de la phase de construction initiale, la préparation du fonctionnement des alvéoles du quartier pilote HA concernant le développement progressif de leur réalisation, de leur conception à leur fonctionnement, est menée dans le quartier pilote HA avec en particulier la réalisation d'un démonstrateur de constructibilité.

En parallèle des différentes actions de confortation de constructibilité des alvéoles et de qualification de leur fonctionnement, différentes études se poursuivent dans le cadre de l'amélioration continue des connaissances permettant de préciser les marges retenues dans les évaluations de sûreté. Ces études concernent en particulier l'amélioration des connaissances sur le comportement des matériaux dans les conditions du stockage, le comportement thermique et thermo-hydro-mécanique du quartier pilote HA, et les dispositifs de surveillance, en incluant leur mise en place dans les conditions industrielles de l'INB Cigéo.

3.3 La préparation de la mise en service des tranches ultérieures pour le stockage des déchets HA et MA-VL

3.3.1 La préparation de la mise en service des tranches ultérieures du quartier de stockage MA-VL

3.3.1.1 La consolidation de la connaissance des colis de déchets (cas des conditionnements à l'état de recherche et le cas des colis de déchets bitumés)

Comme indiqué dans le volume 3 du présent rapport, la connaissance des colis primaires est fournie par les producteurs. L'Andra analyse cette connaissance, l'intègre dans son socle de connaissances colis et la prend en compte dans la conception et le fonctionnement de l'installation au regard des fonctions de sûreté à assurer et de la maîtrise des risques en exploitation et après fermeture.

Les connaissances sur leur comportement dans les conditions de stockage (termes sources, etc.) sont bien maîtrisées suite aux nombreuses études menées sur plus de 20 ans de recherche *a minima*. Ainsi, les actions relatives à ces colis relèvent de la démarche continue d'acquisition de connaissance permettant de maîtriser les marges de sûreté en réduisant les incertitudes/conservatismes identifiés :

- connaissance des colis dont le conditionnement est à l'état de recherche et pour lesquels des hypothèses ont été retenues à ce stade sur leur conditionnement :
  - ✓ pour les familles de colis pour lesquelles le conditionnement au moment du dossier de demande d'autorisation de création n'est pas encore défini, en fonction de la maturité technique des études sur le conditionnement, le producteur devra faire une demande d'avis sur conditionnement si les spécifications de production de ces familles ne sont pas encore validées par l'ASNR, ou bien, dans le cas où elles sont validées, le producteur déposera une demande d'approbation. Ceci concerne par exemple la mise en service des alvéoles pour le stockage des colis de déchets bitumés et la décision au préalable de choix du mode de gestion retenu.
- cas spécifique des déchets bitumés pour lesquels, comme indiqué ci-avant, dans une démarche prudente, l'Andra ne prévoit pas qu'ils soient stockés dans les premiers alvéoles mis en service :
  - ✓ la décision sur le choix du retraitement des fûts de déchets bitumés ou de leur stockage en l'état répondra aux éléments support à la demande d'autorisation du stockage de ces colis prévue dans les tranches de développement du quartier de stockage MA-VL ultérieures à la tranche 1 ;
  - ✓ les résultats d'un programme quadripartie selon trois volets expérimentaux et de modélisation, à savoir : (i) complément du domaine de composition et robustesse des analyses de réactivité, (ii) la maîtrise des effets d'échelle et des effets du vieillissement (irradiation) et (iii) l'acquisition de données en support aux évaluations après-fermeture sur le gonflement des déchets bitumés par reprise d'eau ;
  - ✓ en parallèle des actions qui seront menées dans le cadre du programme quadripartite, les études sur la base de la conception actuelle de l'alvéole de stockage de colis de déchets bitumés concerneront plus particulièrement l'approfondissement de la conception des moyens de manutention et des dispositifs de surveillance ainsi que des moyens d'intervention dans l'alvéole.

3.3.1.2 La prise en compte du REX de la tranche 1 pour la mise en service des alvéoles MA-VL des tranches ultérieures à la tranche 1

Les alvéoles MA-VL des tranches ultérieures seront réalisés environ une dizaine d'années après le démarrage de la construction des quatre premiers alvéoles MA-VL. La construction, le raccordement et la mise en service de ces nouveaux alvéoles, puis ceux des tranches suivantes, prennent en compte les retours d'expérience issus de la construction, de la mise en service et du fonctionnement des alvéoles de la tranche 1 ainsi que des connaissances techniques et scientifiques acquises, en particulier au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse-Haute-Marne, d'ici là. La réalisation de ces alvéoles intègrera également les acquis concernant les dispositifs de surveillance.

Les étapes progressives permettant d'aboutir à la mise en service de ces nouveaux alvéoles s'inscrivent dans la continuité de celles menées au cours de la phase industrielle pilote pour les alvéoles de la tranche 1, en particulier du fait de géométries et de modalités de mise en stockage similaires.

3.3.2 La préparation de la mise en service du quartier de stockage HA

Si la décision du Parlement est de poursuivre le stockage après la phase industrielle pilote, les colis de déchets HA seront accueillis dans le quartier de stockage HA à l'horizon de 2080.

Dans le cadre de la demande d'autorisation de création, la conception et le fonctionnement du quartier de stockage HA et de ses alvéoles s'appuient sur des principes similaires à ceux retenus pour le quartier pilote HA (cf. « Dossier de justification de la conception de l'alvéole HA » (19)).

La progressivité du développement du quartier de stockage HA s'appuie sur un ensemble d'éléments complémentaires concourant à consolider la conception et le fonctionnement de ce quartier tels les enseignements issus du fonctionnement du quartier pilote HA dans ses phases successives d'exploitation en inactif et en actif qui permettent d'alimenter la préparation de la construction du quartier de stockage HA, avec notamment la confortation des modèles phénoménologiques associés au dimensionnement thermo-hydro-mécanique (THM) à l'échelle du quartier, la validation des éléments de conception retenus ainsi que celle des modalités d'exploitation et de surveillance.

Cette progressivité du développement du quartier de stockage HA permet également, s'il y a lieu, de prendre en compte dans sa conception des avancées technologiques et de connaissances scientifiques et de permettre la réalisation d'un quartier avec un concept optimisé du concept actuel ou un concept différent (appelé variante).

Par ailleurs, les prédimensionnements thermiques et THM du quartier de stockage HA retenus au stade de la présente demande d'autorisation de création s'appuient sur une démarche prudente en termes de modèles et de valeurs de paramètres des modèles, en incluant ainsi des marges de différentes natures, en tant que de besoin : critères prudents et modèles intégrant des marges d'abord prudentes (quartier pilote HA) et de plus en plus optimisées (quartier de stockage HA). Ces prédimensionnements seront mis à jour à l'aune des données issues des campagnes de reconnaissances (*e.g.* la campagne de forages profonds ZBS) et du retour d'expérience des activités de reconnaissance à l'avancement pendant la phase de construction initiale. En complément de l'optimisation du modèle de comportement THM qui sera retenu pour le dimensionnement du quartier de stockage HA pour sa réalisation, le suivi du comportement du quartier pilote HA contribuera en tant que de besoin aux progrès de la modélisation thermo-hydro-mécanique et ces derniers pourront permettre d'optimiser la conception de l'architecture du quartier de stockage HA, notamment la valeur de l'entraxe entre les alvéoles (distance séparant deux alvéoles) et le nombre de colis de stockage contenus dans chacun d'eux.

Pour le quartier de stockage HA prévu à l'horizon de 2080, des optimisations sont également envisagées. Elles concernent (i) le conteneur de stockage, (ii) la conception de l'alvéole ou bien (iii) la conception du quartier de stockage HA. Ces optimisations portent sur la géométrie, les dimensionnements, les matériaux ou bien les méthodes de creusement. Elles contribuent principalement à une optimisation

technico-économique du composant vis-à-vis de sa réalisation ou de son fonctionnement. En termes de recherche sur le creusement en vue de la construction du quartier de stockage HA, la principale optimisation envisagée est l'utilisation de tunneliers rétractables pour le creusement des galeries d'accès et de liaison. Cette optimisation s'appuiera sur les études d'optimisation prévues pour le creusement des alvéoles MA-VL.

3.4 La préparation de la fermeture

En réponse à l'objectif fondamental de protection de l'homme et l'environnement après fermeture à long terme, l'Andra a intégré dès la phase de conception la recherche de solutions pour les ouvrages de fermeture et en particulier les scellements (cf. « Dossier de justification de la définition des ouvrages de fermeture » (20)). Tous les scellements (liaison surface-fond, galeries) sont fondés sur l'emploi d'argile gonflante (de par ses propriétés hydrauliques et hydromécaniques remarquables) constituant un noyau hydraulique en interface avec la roche. En regard du développement progressif de l'installation nucléaire de base Cigéo et de la date lointaine de réalisation des scellements de l'installation souterraine, une solution de référence a été retenue pour les scellements de galeries, mais différentes autres solutions techniques de ces scellements sont envisagées à ce stade, notamment en termes d'optimisation technico-économique à exigences de sûreté identiques à la solution de référence, laissant ainsi ouverts les choix qui seront retenus *in fine* , en permettant de bénéficier :

- des progrès scientifiques et technologiques disponibles au moment de la réalisation de ces ouvrages (expérimentation au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, sans préjuger de la poursuite de son exploitation durant toute la période de fonctionnement de l'INB Cigéo, démonstrateurs dans l'installation souterraine, etc.) ;
- de l'expérience acquise lors de l'exploitation de l'installation souterraine en particulier le retour d'expérience de la surveillance des ouvrages dans lesquels seront placés les scellements en environnement réel.

Les options de conception dans la demande d'autorisation de création visent donc à donner un éclairage sur des solutions possibles, en soulignant l'absence d'élément rédhibitoire quant à leur mise en œuvre ni d'incompatibilité quant à la réalisation future de ces ouvrages et l'atteinte des performances visées. La solution technique de référence avec massifs d'appui en béton ancrés (cf. Volume 5 du présent rapport) est ainsi accompagnée de solutions techniques autres comme pistes d'optimisation, à savoir sans massif d'appui en béton ancré dans la roche (ex. avec massif d'appui non ancré ou sans massif d'appui et un contact avec le remblai).

Les schémas ci-dessous (cf. « Dossier de justification de la définition des ouvrages de fermeture » (20)) illustrent un scellement de galerie de référence avec massifs d'appui en béton ancrés dans la roche (cf. Figure 3-2) et des solutions techniques d'optimisation consistant en un dispositif de confinement du noyau en argile gonflante avec massifs d'appui en béton non ancrés dans la roche et sans massif d'appui, uniquement le remblai seul (cf. Figure 3-3). Ces pistes d'optimisation tireraient parti totalement du frottement du noyau sur la roche et le revêtement soutènement laissé en place, limitant la déformation volumique par décharge longitudinale et favorisant ainsi la limitation de l'évolution des caractéristiques hydrauliques et hydromécaniques du noyau au droit des zones de dépose du revêtement/soutènement, sur lesquelles est fondée la fonction hydraulique des scellements.

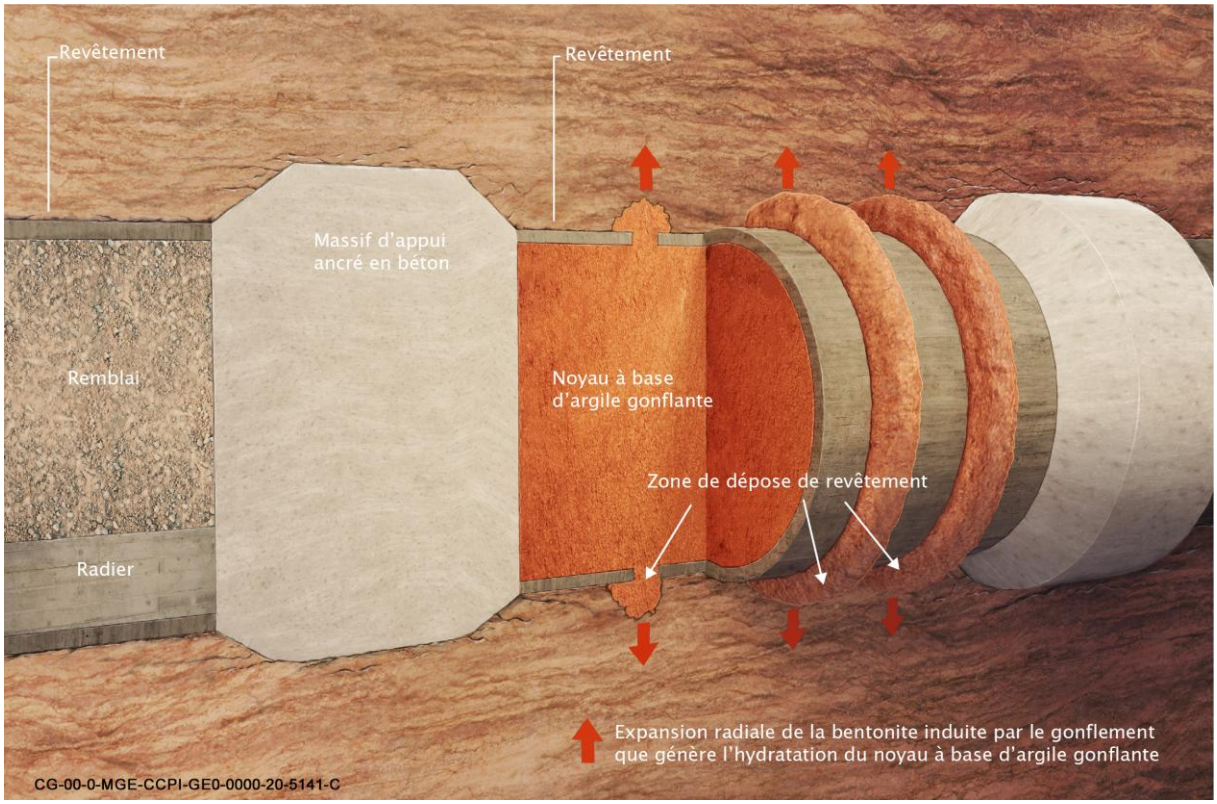


Figure 3-2 *Schéma de principe illustratif d'un scellement de galerie (solution technique de référence avec massifs d'appui en béton ancrés dans la roche)*

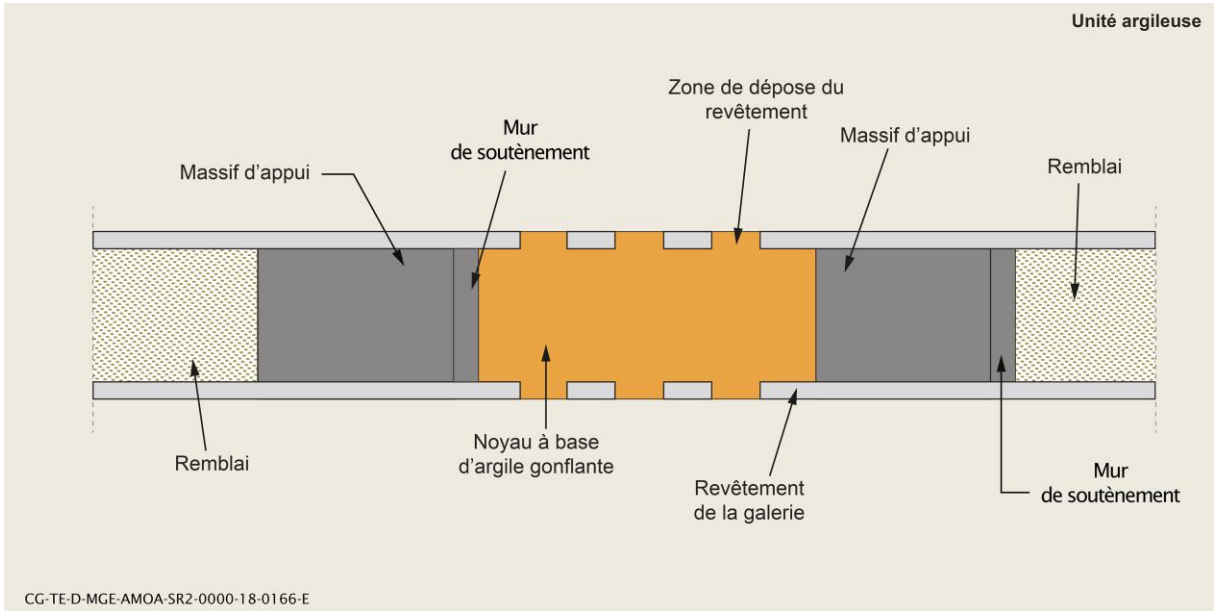


Figure 3-3 *Schéma de principe d'un scellement horizontal avec confinement du noyau par frottement des massifs d'appui en béton non ancrés dans la roche et du remblai, retenu en piste d'optimisation*

Le choix technique détaillé interviendra dans la temporalité précédant la réalisation des premiers scellements dans l'installation nucléaire de base Cigéo, selon la stratégie de fermeture qui sera retenue et dont une proposition est présentée dans la pièce 16 – « Plan directeur de l'exploitation » (1) et les modalités présentées dans la pièce 13 – « Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance » (5)).

Pour rappel, des mesures conservatoires sont retenues pour les portions de galeries réservées pour l'implantation future de scellement :

- avec des longueurs suffisantes pour l'implantation ultérieurement des scellements, quels que soient les concepts qui seront *in fine* retenus au moment de leur réalisation, et, quoi qu'il en soit, supérieures au strict besoin ;
- orientées dans la direction la plus favorable vis-à-vis de considérations de sécurité en phase chantier et de performance du système de stockage (maximisation des épaisseurs de garde saine verticale du Callovo-Oxfordien) ;
- avec une géométrie (quasi-)circulaire évitant les concentrations de contraintes et fiabilisant l'estimation de l'extension des zones endommagées.

TABLEAU DE TRAÇABILITÉ DES PRINCIPALES ÉVOLUTIONS

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
1.2	Le plan directeur de l'exploitation propose la feuille de route du déploiement prévisionnel jusqu'à terminaison								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
2.5.1	Un inventaire de référence	X								

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1-1	Schéma prévisionnel des phases temporelles de l'INB Cigéo	9
Figure 1-2	Schéma simplifié du déploiement prévisionnel de l'installation souterraine	10
Figure 1-3	Illustration des ouvrages souterrains construits lors de la phase de construction initiale (en tranche 1)	12
Figure 1-4	Schéma prévisionnel du déroulement de la Phipil dans le déploiement progressif	13
Figure 1-5	Illustration des démonstrateurs mis en place pendant la construction initiale (en tranche 1)	14
Figure 1-6	Principe de déploiement de l'installation souterraine	15
Figure 1-7	Illustration du développement progressif des ouvrages souterrains de l'installation souterraine	16
Figure 2-1	Illustration de la localisation des verses dans la zone puits	22
Figure 2-2	Illustration de principe de séparation des zones souterraines en exploitation et en travaux et les liaisons surface-fond associées (dimensions et proportions non représentatives)	25
Figure 2-3	Illustration des interfaces entre les zones en exploitation et en travaux – Quartier de stockage MA-VL	26
Figure 3-1	Illustration de la localisation du démonstrateur de constructibilité d'un alvéole MA-VL réalisé en tranche 1 dans le quartier de stockage MA-VL	43
Figure 3-2	Schéma de principe illustratif d'un scellement de galerie (solution technique de référence avec massifs d'appui en béton ancrés dans la roche)	47
Figure 3-3	Schéma de principe d'un scellement horizontal avec confinement du noyau par frottement des massifs d'appui en béton non ancrés dans la roche et du remblai, retenu en piste d'optimisation	47

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 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.

2 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.

3 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.

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

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

6 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.

7 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 4 - Plans de situation au 1/10 000e indiquant le périmètre proposé. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-CM0-0000-21-0003.

8 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 5 - Plans détaillés de l'installation à l'échelle 1/2 500e. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-CM0-0000-21-0004.

9 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification des choix d'architecture souterraine. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-AF0-0000-19-0001.

10 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Dossier de justification de la conception des liaisons surface-fond. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-DJC-AMOA-ASU-0000-19-0046.

11 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Inventaire de référence retenu pour la conception et la démonstration de sûreté de l'INB Cigéo au stade des études d'avant-projet. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-CS0-0000-20-0002.

12 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Démarche d'élaboration des inventaires de l'INB Cigéo. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SR2-0000-20-0014.

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

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

15 Lettre CODEP-DRC-2018-001635 de l'ASN du 12 janvier 2018 relative au dossier d'options de sûreté pour le projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2018). N°CODEP-DRC-2018-001635. 45 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/Lettre-adressee-a-l-Andra-precisant-les-options-de-surete-Cigeo.

16 Avis délibéré de l'Autorité environnementale sur le centre de stockage Cigéo (52-55). Autorité environnementale (2021). N°2020-79. 56 p. Disponible à l'adresse : https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/210113_cigeo_52_55_delibere_cle26329f.pdf.

17 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 6 - Étude d'impact du projet global Cigéo. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-EDM-AMOA-ESE-0000-22-0005.

18 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.

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

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

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