

# Proposition de plan directeur pour l'exploitation de Cigéo

Avril 2016



Version 1 pour consultation





## Sommaire

<b>Résumé</b>	<b>5</b>
<b>Glossaire</b>	<b>7</b>
<b>Tables des illustrations</b>	<b>14</b>
<b>1 Préambule</b>	<b>17</b>
1.1 Contexte	18
1.2 Le principe et la finalité de Cigéo	18
1.3 Objet de la proposition de PDE	19
<b>2 Le déroulement de référence du projet Cigéo</b>	<b>21</b>
2.1 Inventaire des déchets à stocker dans Cigéo	22
2.1.1 Introduction	22
2.1.2 Principales hypothèses	23
2.1.3 Données quantitatives	23
2.1.4 Modalités prévisionnelles de livraison	24
2.1.5 Synthèse de l'inventaire des déchets à stocker dans Cigéo	25
2.2 Présentation de Cigéo	26
2.3 Principales phases temporelles de développement de Cigéo	27
2.4 La conception	28
2.5 La construction initiale	31
2.6 L'exploitation	34
2.6.1 L'exploitation de Cigéo et la construction simultanée de zones de stockage	34
2.6.2 La fermeture progressive	37
2.7 La fermeture définitive	40
2.8 Synthèse du déroulement de référence	43
<b>3 La phase industrielle pilote</b>	<b>45</b>
3.1 Contexte	46
3.2 Définition de la phase industrielle pilote	46
3.3 Objectifs de la phase industrielle pilote	48
3.3.1 Maîtrise des risques dans les conditions d'exploitation	48
3.3.2 Performances des équipements industriels	49
3.3.3 Capacité à retirer les colis stockés	49
3.3.4 La capacité à surveiller les ouvrages de stockage	50
3.3.5 La capacité à obturer et à sceller les alvéoles, galeries et descenderies	51
3.3.6 Pistes d'optimisation	52
3.4 Synthèse de la phase industrielle pilote	54
<b>4 Les choix offerts par la réversibilité pour la conduite du projet</b>	<b>55</b>
4.1 La réversibilité	56
4.2 Le développement incrémental du projet	58
4.3 La flexibilité de l'exploitation	59
4.4 L'adaptabilité des installations de Cigéo	60
4.5 La récupérabilité des colis stockés	62

4.6	<i>Synthèse de la réversibilité</i>	64
<b>Annexes</b>		<b>65</b>
<i>Annexe 1</i>	<i>Installations nucléaires produisant les déchets destinés à Cigéo</i>	66
<i>Annexe 2</i>	<i>Inventaire des colis de déchets destinés à Cigéo (sur la base du scénario industriel d'exploitation des installations établi par AREVA, le CEA et EDF)</i>	67
<i>Annexe 3</i>	<i>Présentation de l'architecture souterraine de Cigéo (illustration sur la base des études de fin d'APS)</i>	71
<i>Annexe 4</i>	<i>Echelle internationale de récupérabilité (13)</i>	72
<i>Annexe 5</i>	<i>Déroulement de référence de la construction de l'installation souterraine (illustrations réalisées sur la base des études de fin d'APS)</i>	73
<i>Annexe 6</i>	<i>Outils de la réversibilité</i>	94
<i>Annexe 7</i>	<i>Principales échéances décisionnelles et techniques envisagées par l'Andra pour Cigéo (sur la base des études d'APS et sous réserves d'évolutions du cadre réglementaire)</i>	99
<b>Références bibliographiques</b>		<b>100</b>

# RESUME

La production d'une proposition de plan directeur d'exploitation de Cigéo (PDE) a été décidée lors de la délibération du Conseil d'administration de l'Andra du 5 mai 2014 relative aux suites à donner au débat public Cigéo.

L'objectif de la proposition de PDE est de décrire le déroulement dit « de référence » du projet Cigéo, tel qu'envisagé par l'Andra à la fin des études d'avant-projet sommaire, d'explicitier les objectifs de la phase industrielle pilote et de présenter les choix offerts par la réversibilité en matière de conduite du projet Cigéo.

Le déroulement de référence comprend l'inventaire des déchets pris en compte dans les études de conception Cigéo. Les déchets destinés à Cigéo recouvrent les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et les déchets de haute activité (HA). L'inventaire de référence de Cigéo est de 73 600 m<sup>3</sup> de déchets MA-VL et 10 100 m<sup>3</sup> de déchets HA. Cigéo est conçu pour stocker les déchets déjà produits et ceux qui seront produits à l'avenir par les installations nucléaires existantes et par celles dont la création a été autorisée, jusqu'au terme prévisible de leur exploitation, puis de leur démantèlement. La durée d'exploitation prise en référence est de 50 ans en moyenne pour l'ensemble des réacteurs en service du parc électronucléaire et pour le réacteur EPR de Flamanville en construction. La durée de vie des installations du cycle du combustible est adaptée à celle du parc électronucléaire. La totalité des combustibles usés est supposée traitée. Pour les installations de recherche (réacteurs et laboratoires CEA) actuellement en exploitation, leur durée de fonctionnement est supposée être de 50 ans. Il en est de même pour le réacteur Jules Horowitz actuellement en construction. L'installation ITER est supposée exploitée pendant 20 ans. L'inventaire de référence de Cigéo est en cohérence avec l'Inventaire national.

Le déroulement de référence comprend également les durées et les jalons prévisionnels de la construction et de l'exploitation de Cigéo jusqu'à terminaison, c'est-à-dire jusqu'à la fin de réalisation des ouvrages permettant de stocker tous les colis de l'inventaire de référence de Cigéo. Sur toute la durée d'exploitation de Cigéo, les travaux d'extension des zones de stockage de Cigéo se succèdent par tranches successives, chacune d'une durée d'environ 10 ans. Les jalons prévisionnels de fermeture sont également identifiés. Sous réserve de l'obtention des autorisations nécessaires, l'Andra propose de retenir le calendrier prévisionnel suivant :

- **Vers 2025** - démarrage de la phase industrielle pilote ;
- **Vers 2030** - réception des premiers colis de déchets MA-VL et HA0 ;
- **Vers 2035** - passage en exploitation courante ;
- **Vers 2070** - construction des installations de surface et des ouvrages de stockage pour les colis HA1 et HA2 ;
- opérations de fermeture partielle de Cigéo prévues vers :
  - ✓ **2070** pour la zone de stockage HA0 ;
  - ✓ **2100** pour la zone de stockage MA-VL ;
  - ✓ **2145** pour la zone de stockage HA1/HA2 ;
- opérations de fermeture définitive de Cigéo prévue à l'horizon **2150**.

La phase industrielle pilote constitue une période temporelle du projet qui débute lors des essais de démarrage de l'installation et se termine lors du passage en exploitation courante. Sa durée totale est estimée à environ dix ans, dont environ 4 ans d'essais inactifs (concomitants de la finalisation de la construction et de la nucléarisation des ouvrages), puis environ 6 ans d'exploitation après la réception des premiers colis de déchets.

Elle vise à conforter, en conditions réelles et en complément des essais réalisés dans le Laboratoire souterrain :

- la maîtrise des risques dans les conditions d'exploitation ;
- les performances des équipements industriels ;
- la capacité à retirer des colis de déchets de leur alvéole de stockage ;
- la capacité à surveiller les ouvrages de stockage ;
- la capacité à obturer et à sceller les alvéoles et galeries ;
- les pistes d'optimisation technico-économique.

La préoccupation éthique de réversibilité trouve son origine dans l'échelle de temps qu'implique la gestion des déchets radioactifs les plus nocifs, en particulier la durée d'exploitation d'ordre séculaire de l'exploitation du stockage profond (environ 5 générations concernées). La réversibilité se définit comme la capacité à offrir à la génération suivante des choix sur la gestion à long terme des déchets radioactifs. Dans la pratique, la mise en œuvre du principe de réversibilité s'appuie sur des outils de gouvernance et sur des outils techniques de conduite du projet. Le coût des dispositions techniques prises pour favoriser la réversibilité est intégré au projet. Les générations actuelles favorisent ainsi des possibilités et des facilités d'action sur le processus de stockage. Toutefois, si les générations futures décidaient d'exercer ces options, par exemple pour modifier le stockage pour la réception de nouveaux déchets ou pour en retirer des colis, elles auraient à supporter la charge de leurs décisions.

Dans le cadre de la réversibilité, les outils techniques de conduite du projet sont les suivants :

- le « développement incrémental » de Cigéo offre la possibilité aux générations futures de temporiser ou au contraire d'accélérer la construction de Cigéo. 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 ;
- la « flexibilité de l'exploitation » offre la possibilité aux générations futures de décaler ou d'accélérer les flux de colis reçus sur Cigéo. Elle rend également possible de recevoir des déchets de l'inventaire de référence qui auraient été conditionnés sous une forme différente de celle prévue initialement, sous réserve que ceux-ci respectent les conditions d'acceptation sur Cigéo. Elle permet aussi de modifier le schéma de fermeture de référence pour anticiper ou retarder des opérations de fermeture partielle ;
- « l'adaptabilité des installations » de Cigéo permet des modifications du projet suite à des évolutions de ses hypothèses de dimensionnement initiales. La conception de Cigéo permet de l'adapter à une éventuelle décision de stockage des combustibles usés ou de déchets actuellement destinés à un stockage à faible profondeur (déchets de faible activité à vie longue). Le stockage de ces déchets ne constitue pas en soi une difficulté technique, ceux-ci pouvant être intégrés à de futures tranches de Cigéo, sous réserve d'une procédure spécifique d'autorisation. Toutefois, l'intégration de ces déchets à l'inventaire de référence de Cigéo serait prématurée à ce stade et ne pourrait être comprise de l'ensemble des parties intéressées en raison, d'une part de l'absence à ce jour de modification de la politique nationale de gestion des déchets, d'autre part du maintien d'études d'options de gestion apparaissant plus proportionnées ;
- la « récupérabilité » offre aux générations futures la possibilité de revenir sur le choix du stockage profond comme mode de gestion des déchets radioactifs, pour tout ou pour partie des colis stockés.

La proposition de PDE sera soumise aux parties intéressées pour concertation. Elle préfigure un outil de gouvernance du projet, qui sera mis à jour de façon périodique durant l'exploitation de Cigéo.

# GLOSSAIRE

<b>Actinides mineurs</b>	Certains actinides produits par irradiation du combustible nucléaire. Il s'agit essentiellement du neptunium, de l'américium et du curium. L'uranium et le plutonium ne sont pas des actinides mineurs.
<b>Adaptabilité</b>	Capacité à modifier l'installation pour l'adapter à de nouvelles hypothèses de dimensionnement (par exemple des évolutions d'inventaire) impliquant des modifications notables des équipements existants ou des constructions d'ouvrages nouveaux.
<b>Alvéole</b>	Dans une installation de stockage, structure élémentaire conçue pour recevoir des colis de déchets radioactifs.
<b>Co-stockage</b>	Stockage dans un même alvéole de colis de natures différentes, mais compatibles au regard des fonctions de sûreté en exploitation et en après-fermeture et au regard de leur géométrie.
<b>Colis de déchets radioactifs</b>	Déchets radioactifs conditionnés et emballés.
<b>Colis de stockage (CS)</b>	Colis de déchets radioactifs pouvant être placé en l'état dans l'installation de stockage. Un complément de colisage est susceptible de compléter les colis primaires en provenance des producteurs de déchets.
<b>Colis primaire (CP)</b>	Colis de déchets issu des installations de conditionnement des déchets des producteurs. En pratique, le colis primaire est constitué d'un conteneur primaire, des déchets et des éventuels matériaux utilisés, soit pour la matrice de confinement ou de blocage, soit pour compléter le remplissage du conteneur.
<b>Conditionnement</b>	Lorsqu'ils sont produits, les déchets radioactifs se trouvent sous forme brute, gazeuse, liquide ou solide. Pour pouvoir gérer ces déchets, il est nécessaire de les conditionner, c'est-à-dire de fabriquer des « colis de déchets ». Le conditionnement peut être défini comme l'ensemble des opérations consistant à introduire ces déchets, éventuellement traités au préalable, dans un conteneur, où ils peuvent être incorporés ou non dans un matériau d'enrobage, pour former un colis de déchets. Les déchets radioactifs sont ainsi mis sous une forme convenant à leur transport, leur entreposage ou leur stockage. Les opérations de conditionnement menées comprennent par exemple le compactage, l'enrobage, la vitrification, la cimentation, le bitumage, la mise en conteneur.
<b>Confinement</b>	Maintien des substances radioactives à l'intérieur d'un espace déterminé grâce à un ensemble de dispositifs visant à empêcher leur dispersion en quantités inacceptables au-delà de cet espace. Par extension, ensemble de disposition prises pour assurer ce maintien.
<b>Conteneur de stockage</b>	Récipient manutentionnable fermé en béton ou en acier dans lequel sont placés un ou plusieurs colis primaires en préalable à la mise en stockage. Il est constitué d'un corps et d'un couvercle.

<b>Coques</b>	Déchets constitués des morceaux de gaine subsistant après dissolution chimique des tronçons d'éléments combustibles obtenus par cisailage des crayons ou des assemblages combustibles dans le cadre de leur traitement.
<b>Coupure hydraulique</b> (de la zone endommagée autour d'un scellement)	Composant d'un scellement interrompant tout ou partie de la zone endommagée de la roche environnante de façon à réduire les écoulements d'eau le long du scellement. En pratique, il est réalisé sous la forme d'une saignée comblée par un matériau argileux gonflant peu perméable.
<b>Coût global de possession</b>	Somme des coûts de construction (études et réalisation), d'exploitation et de maintenance, de jouvence et renouvellement et de démantèlement d'une installation.
<b>Débit de dose</b>	Quotient de la variation de la dose durant l'intervalle de temps $dt$ par cet intervalle de temps $dt$ (unité : en gray par seconde mais l'unité couramment utilisée en radioprotection est en microgray par heure $\mu\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ ).
<b>Déblais</b>	Morceaux de roches extraites lors des travaux de creusement et de terrassement.
<b>Déchets radioactifs</b>	Substances radioactives pour lesquelles aucune utilisation ultérieure n'est prévue ou envisagée.
<b>Déchets radioactifs ultimes</b>	Déchets radioactifs qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux.
<b>Déchets de structure</b>	Déchets radioactifs comprenant les structures métalliques des assemblages combustibles des réacteurs à eau. Ce terme peut aussi s'employer pour les assemblages combustibles des réacteurs rapides à sodium.
<b>Déchets HA</b>	Déchets de haute activité. Les déchets de haute activité (HA) sont principalement issus du traitement des combustibles. Le niveau d'activité de ces déchets est de l'ordre de plusieurs milliards de becquerels par gramme.
<b>Déchets MA-VL</b>	Déchets de moyenne activité à vie longue. Les déchets MAVL sont principalement issus du traitement des combustibles et des activités de maintenance et d'exploitation des usines de traitement. Il s'agit notamment des déchets de structure des assemblages de combustible, embouts et coques, ainsi que de déchets technologiques (outils usagés, équipements...) et de déchets de procédés issus du traitement des effluents, comme certaines boues. L'activité de ces déchets est de l'ordre d'un million à un milliard de becquerels par gramme.
<b>Déchets technologiques</b>	Dans les installations nucléaires, déchets provenant des travaux d'entretien et de maintenance, comme les tenues de protection, les gants des boîtes à gants et de manière générale, les matériels contaminés remplacés.
<b>Déchets vitrifiés</b>	Déchets radioactifs conditionnés en utilisant du verre comme matrice de conditionnement. Les solutions de produits de fission ont été les premiers déchets vitrifiés.

<b>Décret d'autorisation</b>	Décret autorisant la création ou le démantèlement d'une installation nucléaire de base en application respectivement des articles L. 593-7 et 28 du code de l'environnement.
<b>Démonstrateur</b>	Ouvrage inactif (c'est-à-dire ne contenant pas de colis de déchets radioactif) de l'installation souterraine utilisé pour des opérations d'essais, de démonstration de faisabilité, de développement de composant et d'équipement, d'entraînement des équipes d'exploitation et de surveillance. Il est conçu pour être le plus représentatif possible des ouvrages industriels en vue notamment de démontrer la faisabilité industrielle ou l'atteinte des performances voulues pour les ouvrages industriels dans un environnement physique représentatif des conditions d'emploi envisagées. Les démonstrateurs envisagés dans Cigéo sont des démonstrateurs d'alvéoles de stockage, de scellement et de coupure hydraulique.
<b>Démonstration de sûreté nucléaire</b>	Ensemble des éléments contenus ou utilisés dans le rapport préliminaire de sûreté et les rapports de sûreté mentionnés aux articles 8, 20, 37 et 43 du décret du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives et participant à la démonstration mentionnée au deuxième alinéa de l'article L. 593-7 du code de l'environnement, qui justifient que les risques d'accident, radiologiques ou non, et l'ampleur de leurs conséquences sont, compte tenu de l'état des connaissances, des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation, aussi faibles que possible dans des conditions économiques acceptables.
<b>Descenderie</b>	Ouvrage en pente reliant des installations situées à la surface à l'installation souterraine de Cigéo.
<b>Effluent</b>	Tout fluide, liquide ou gazeux, issu de l'installation susceptible d'être rejeté dans le milieu récepteur directement ou indirectement.
<b>Effluent radioactif</b>	Effluent dont la nature, l'origine ou les caractéristiques radiologiques justifient la mise en œuvre de dispositions pour la protection des personnes et de l'environnement contre les risques ou nuisances liés aux rayonnements ionisants.
<b>Élément important pour la protection (EIP)</b>	Élément important pour la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 du code de l'environnement (sécurité, santé et salubrité publiques, protection de la nature et de l'environnement), c'est-à-dire structure, équipement, système (programmé ou non), matériel, composant, ou logiciel présent dans une installation nucléaire de base ou placé sous la responsabilité de l'exploitant, assurant une fonction nécessaire à la démonstration mentionnée au deuxième alinéa de l'article L. 593-7 du code de l'environnement ou contrôlant que cette fonction est assurée.
<b>Embranchement ferroviaire</b>	Voie ou ensemble de voies privées raccordées à un réseau de chemin de fer de façon à assurer, sans transbordement, la desserte d'établissements industriels ou commerciaux, d'installations portuaires.
<b>Essais actifs</b>	Essais portant sur des équipements ou des colis contenant des substances radioactives.
<b>Essais inactifs</b>	Essais portant sur des équipements ou des colis ne contenant pas de substance radioactive. Les tests et contrôles des équipements de radioprotection sont considérés comme des essais inactifs.

<b>Exigence</b>	Enoncé qui prescrit une fonction, une aptitude, une caractéristique ou une limitation à laquelle doit satisfaire le produit dans les conditions d'environnement données.
<b>Exploitant nucléaire</b>	Personne physique ou morale exploitant une installation nucléaire de base, que sa situation soit régulière ou non, ou ayant déposé une demande d'autorisation de création prévue par l'article L. 593-7 du code de l'environnement en vue d'exploiter une telle installation.
<b>Flexibilité</b>	Capacité de l'installation à s'adapter à des variations du programme industriel (chronique de réception, flux de réception, date de fermeture partielle, évolution du mode de conditionnement des colis de l'inventaire de référence).
<b>Fonction de sûreté</b>	Fonction élémentaire prévue pour assurer la sûreté d'une installation nucléaire de base (INB) ou d'un transport de matières radioactives dans toutes les situations prises en compte pour sa conception, sa construction, son exploitation ou après fermeture.
<b>Fonctionnement normal</b>	Fonctionnement de l'installation qui comprend l'ensemble des états et des opérations courants de l'installation, y compris les situations de maintenance ou d'arrêt programmées, que les matières radioactives soient présentes ou non ; relève également du fonctionnement normal toute situation définie comme telle dans la démonstration de sûreté.
<b>Hotte (hotte de transfert)</b>	Enceinte mobile blindée assurant le transfert des colis de stockage dans les installations, dans le respect des règles de radioprotection et de confinement.
<b>Installation souterraine</b>	Ensemble des ouvrages, équipements et systèmes de Cigéo implantés dans la couche argileuse du Callovo-Oxfordien.
<b>Installations de surface</b>	Ensemble des ouvrages, équipements et systèmes de Cigéo implantés en surface. Ces installations sont réparties sur deux zones (zone dite « descendrière » et zone dite « puits »).
<b>Inventaire de référence</b>	Somme des colis MAVL et HA destinés à être stockés dans Cigéo et servant de base à l'établissement du décret de création de Cigéo.
<b>Inventaire national des matières et déchets radioactifs</b>	Inventaire, mis à jour tous les ans et publié tous les trois ans par l'Andra, recensant l'ensemble des matières et déchets radioactifs présents sur le territoire français et établissant des prévisions de leur production dans le futur.
<b>Liaison surface-fond</b>	Ouvrage reliant les installations de surface et l'installation souterraine (descendrière ou puits vertical).
<b>Maître d'œuvre</b>	Personne de droit privé ou groupement de personnes de droit privé auquel le maître d'ouvrage confie une mission qui doit permettre d'apporter une réponse architecturale, technique et économique au programme concerné. Il peut, notamment, lui être confié les éléments de conception et d'assistance suivants : les études d'esquisse, les études d'avant-projets, les études de projet, etc.
<b>Niveaux de récupérabilité des alvéoles</b>	Etats successifs de fermeture (partielle jusqu'à définitive) de l'installation de stockage permettant de traduire l'augmentation du degré d'effort à mettre en œuvre pour en retirer les colis.

<b>Observation</b>	Investigations d'un fait, d'un processus, en vue de mieux le connaître, le comprendre, notamment en identifiant son origine. Elle s'inscrit dans le cadre d'une démarche d'amélioration continue (démarche « exploitant responsable » conforme à l'art. 2.7.2 de l'arrêté INB du 7 février 2012).
<b>Ouvrages de fermeture</b>	Ouvrages complémentaires de la barrière géologique permettant d'assurer le bon fonctionnement du stockage après fermeture, c'est-à-dire permettant d'assurer sa sûreté de façon passive.
<b>Performance</b>	Caractéristique d'un composant, d'un équipement ou d'un système. Elle est établie par le concepteur vis-à-vis des critères définis par l'utilisateur par rapport à une fonction.
<b>Période radioactive</b>	Durée nécessaire à la désintégration de la moitié des noyaux d'atomes d'un nucléide radioactif.
<b>Perméabilité</b>	Paramètre caractérisant le débit d'un fluide (eau ou gaz) s'écoulant à travers un milieu poreux soumis à un gradient de charge hydraulique (eau) ou de pression (gaz).
<b>Perturbation</b>	Phénomène modifiant un élément du stockage par rapport à son état ou à son évolution naturelle.
<b>Phase industrielle pilote</b>	Période temporelle du projet Cigéo, débutant à l'engagement des premiers essais dans l'installation souterraine et prenant fin lors du passage en exploitation courante. Elle fera l'objet de bilans de l'Andra (fonctionnement, sûreté, réversibilité). Le passage en exploitation courante s'effectuera selon un processus dont la validation associera l'ASN et les parties intéressées, dans un cadre réglementaire qui reste à définir.
<b>Radionucléide</b>	Isotope radioactif d'un élément.
<b>Radioprotection</b>	Ensemble des règles, des procédures et des moyens de prévention et de surveillance visant à empêcher ou à réduire les effets nocifs des rayonnements ionisants produits sur les personnes, directement ou indirectement, y compris par les atteintes portées à l'environnement.
<b>Récupérabilité</b>	Capacité à retirer des colis de déchets stockés en formation géologique profonde.
<b>Remblais</b>	Matériau utilisé pour combler les liaisons surface fond et les galeries du stockage en dehors des sections occupées par des ouvrages de scellement.
<b>Réversibilité</b>	Capacité à offrir à la génération suivante des choix sur la gestion à long terme des déchets radioactifs, incluant notamment le scellement d'ouvrages de stockage ou la récupération de colis de déchets ; cette capacité est notamment assurée par un développement progressif et flexible du stockage.
<b>Robustesse</b>	Capacité d'un équipement, d'un composant ou d'un système à fonctionner dans une gamme élargie de conditions d'environnement (chaleur, froid, eau liquide, humidité, sécheresse, vibration, déformations géométriques, présence de contamination, vieillissement, après un choc...) ou à être tolérant à la défaillance d'une partie de ses composants ou aux agressions externes.

<b>Soutènement</b>	Composant d'un ouvrage souterrain ou dispositif destiné à en assurer la stabilité mécanique.
<b>Stockage direct</b>	Stockage de colis MA-VL sans introduction préalable du colis livré par le producteur dans un conteneur de stockage.
<b>Sûreté nucléaire</b>	Ensemble des dispositions techniques et des mesures d'organisation relatives à la conception, à la construction, au fonctionnement, à l'arrêt et au démantèlement des installations nucléaires de base ainsi qu'au transport des substances radioactives, prises en vue de prévenir les accidents ou d'en limiter les effets.
<b>Surveillance</b>	Mesure systématique continue ou périodique d'un certain nombre de grandeurs permettant de i) contrôler le fonctionnement de l'installation (en regard de ses fonctions en exploitation et après fermeture), dès la construction, durant toute l'exploitation et, pendant une période donnée, après fermeture pour vérifier que l'installation reste dans le domaine de fonctionnement défini, ii) identifier les dérives éventuelles de fonctionnement de l'installation, iii) vérifier la capacité de retrait des colis.
<b>Toit (d'une formation géologique)</b>	Limite supérieure d'une formation géologique sédimentaire.
<b>Tranche</b>	Ensemble de bâtiments de surface et/ou d'ouvrages souterrains construits en engageant une tranche d'investissement, c'est-à-dire une partie du coût global de possession.
<b>Verses</b>	Partie des installations de surface destinée à stocker les déblais issus du creusement des installations souterraines. Par extension, déblais stockés en surface.
<b>Zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie</b>	Zone située dans la zone de transposition qui : <ul style="list-style-type: none"><li>• est compatible avec une implantation potentielle de l'accès de la descenderie dans la zone limitrophe Meuse/Haute-Marne ;</li><li>• est compatible avec une implantation potentielle des puits d'accès principaux dans une zone boisée ;</li><li>• évite une implantation sous les zones urbanisées des villages.</li></ul> Sa superficie est d'environ 30km <sup>2</sup> . Elle a fait l'objet d'une campagne sismique 3D en 2010.
<b>Zone de soutien logistique « exploitation »</b>	Zone de l'installation souterraine ayant pour fonction d'assurer le soutien aux opérations de mise en stockage et, le cas échéant, de retrait des colis.
<b>Zone de soutien logistique « travaux »</b>	Zone de l'installation souterraine ayant pour fonction d'assurer le soutien aux opérations de construction et d'équipement des ouvrages souterrains.
<b>Zone de stockage</b>	Partie du stockage dans laquelle sont situés les quartiers de stockage des déchets MA-VL et les quartiers de stockage des déchets HA0 et HA1/HA2.
<b>Zone de transposition</b>	Zone au sein de laquelle la couche du Callovo-Oxfordien présente des propriétés physiques et chimiques similaires à celles observées au niveau du laboratoire souterrain de recherche. Sa superficie est d'environ 250km <sup>2</sup> .

<b>Zone descenderie</b>	Zone composée des installations de surface servant notamment à la réception, au contrôle et à la préparation des colis de déchets avant leur transfert dans l'installation souterraine.
<b>Zone en exploitation nucléaire (ou zone nucléaire)</b>	Zone dans laquelle de la matière nucléaire est présente ou a été présente et/ou sont effectuées des opérations sur des colis contenant des déchets ou de la matière nucléaire, ou sur des équipements ayant fonctionné dans une zone potentiellement contaminée.
<b>Zone puits</b>	Zone composée des installations de surface servant essentiellement aux travaux de creusement et de construction des ouvrages souterrains.
<b>Zone « travaux »</b>	Partie de l'installation dans laquelle sont effectués des travaux de construction. Elle est séparée physiquement de la zone en exploitation.

# TABLES DES ILLUSTRATIONS

## Figures

Figure 1-1	Schéma de principe des échanges pour la concertation de la proposition de PDE	19
Figure 2-1	Vue 3D des installations de surface et souterraine de Cigéo (schéma à fin d'APS)	26
Figure 2-2	Schéma des principales phases temporelles de Cigéo	27
Figure 2-3	Principales étapes de développement du projet depuis 1991	29
Figure 2-4	Echelle TRL pour l'évaluation du niveau de maturité technologique d'un élément	30
Figure 2-5	Représentation schématique des étapes de construction des ouvrages souterrains de la T1 (dates prévisionnelles à fin d'APS)	32
Figure 2-6	Représentation des ouvrages souterrains de la T1 (sur la base des études d'APS - voir détails en annexe 5)	33
Figure 2-7	Vue des ouvrages de surface de la zone de réception, de contrôle et de préparation des colis de la T1 (zone « descenderie ») (sur la base des études d'APS)	33
Figure 2-8	Vue des ouvrages de surface de la zone de soutien aux travaux de creusement de la T1 (zone « puits ») (sur la base des études d'APS)	34
Figure 2-9	Schéma de l'enchaînement des travaux de construction et d'exploitation des tranches successives	35
Figure 2-10	Représentation schématique des étapes de construction et d'exploitation des ouvrages souterrains à terminaison (dates prévisionnelles à fin d'APS) - les dispositions permettant de séparer les zones nucléaires en exploitation des zones en travaux ne sont pas représentées	36
Figure 2-11	Représentation des architectures souterraines à terminaison (sur la base des études d'APS - voir détails en annexe 3)	36
Figure 2-12	Distribution schématique des bâtiments EP1, EP2 et tête de descenderie (sur la base des études d'APS)	37
Figure 2-13	Représentation schématique des étapes de fermeture partielle des ouvrages souterrains (dates prévisionnelles à fin d'APS)	39
Figure 2-14	Représentation des ouvrages souterrains à l'issue des étapes de fermeture partielle (sur la base des études d'APS - voir détails en annexe 5)	40
Figure 2-15	Représentation schématique des étapes de fermeture des ouvrages souterrains (dates prévisionnelles à fin d'APS)	41
Figure 2-16	Représentation des ouvrages souterrains à l'issue de la fermeture définitive (sur la base des études d'APS - voir détail en annexe 5)	42
Figure 3-1	Schéma présentant l'articulation de la phase industrielle pilote et des phases de construction initiale et d'exploitation	48
Figure 3-2	Schéma de la zone d'implantation des démonstrateurs (sur la base des études d'APS - démonstrateurs d'alvéole HA et de coupure hydraulique non représentés - l'emplacement de la zone au sein de l'installation souterraine est susceptible d'évoluer au cours des études de conception)	52
Figure 4-1	Schéma présentant l'articulation des outils de réversibilité relatifs à la gouvernance et à la conduite du projet	57
Figure 4-2	Schéma d'un exemple d'architecture souterraine intégrant le stockage de combustibles usés (sur la base des études d'APS)	61
Figure 4-3	Localisation des réserves d'emprise foncière en surface pour la récupérabilité (sur la base des études d'APS)	63

## Tableaux

Tableau 2-1 :	Volume <sup>7</sup> des colis primaires de déchets HA destinés à Cigéo	24
Tableau 2-2 :	Volume <sup>7</sup> des colis primaires de déchets MA-VL destinés à Cigéo	24
Tableau 2-3 :	Synthèse des étapes de construction (réalisation et équipement), d'exploitation et de fermeture des ouvrages de Cigéo (dates prévisionnelles à fin d'APS)	44



# 1

---

## Préambule

---

<b>1.1</b>	<b>Contexte</b>	<b>18</b>
<b>1.2</b>	<b>Le principe et la finalité de Cigéo</b>	<b>18</b>
<b>1.3</b>	<b>Objet de la proposition de PDE</b>	<b>19</b>

## 1.1 Contexte

La Commission nationale du débat public (CNDP) a organisé un débat public sur le projet Cigéo du 15 mai au 31 juillet 2013 et du 1<sup>er</sup> septembre au 15 décembre 2013. Le compte rendu et le bilan du débat public ont été publiés le 12 février 2014, avec la présentation de l'avis du panel de citoyens issu de la Conférence de citoyens organisée par la CNDP (1) (2) (3).

Le 5 mai 2014, le Conseil d'administration de l'Andra s'est réuni pour délibérer sur les suites à donner au débat public sur le projet Cigéo (4). Il a notamment prévu, en amont de la demande d'autorisation de création (DAC) de Cigéo, et pour préparer son instruction, la transmission à l'Etat d'un ensemble de livrables constitué d'une proposition de plan directeur pour l'exploitation de Cigéo, du dossier d'options de sûreté et du dossier d'options techniques de récupérabilité. Afin de prendre en compte dans la DAC les demandes issues de l'instruction de ces livrables par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), leur évaluation par la commission nationale d'évaluation (CNE) et les résultats de la concertation avec les parties intéressées et d'y intégrer l'ensemble des études de conception, le dépôt de la DAC est actuellement prévu en 2018.

En décembre 2015, l'Andra a publié une note de positionnement dans laquelle elle présente comment le principe de réversibilité est placé au cœur de l'approche technique et sociétale pour le développement de Cigéo (5). La réversibilité du stockage est considérée comme la capacité à offrir à la génération suivante des choix sur la gestion à long terme des déchets radioactifs. Elle s'appuie sur des outils de gouvernance (amélioration continue des connaissances ; transparence et transmission des informations et des connaissances ; participation de la société, évaluation et supervision par le Parlement ; contrôle par l'ASN) et sur des outils de conduite du projet (développement incrémental et progressivité de la construction ; flexibilité de l'exploitation ; adaptabilité des installations ; récupérabilité).

Le présent document constitue la proposition de plan directeur d'exploitation (PDE) prévue par la délibération du 5 mai 2014. Il a été produit sur la base des études d'avant-projet sommaire (APS) de Cigéo menées par l'Andra jusqu'à fin 2015. Les éléments techniques (architectures, plans, définition technique des équipements, optimisations...) et les données chiffrées (dates, nombre d'alvéoles, nombre de colis...) qui y sont présentés sont susceptibles d'évoluer en phase d'avant-projet définitif (APD) et au-delà, en fonction des études et des échanges à mener avec les parties intéressées.

## 1.2 Le principe et la finalité de Cigéo

Les déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) ne peuvent être stockés en surface ou à faible profondeur compte-tenu des risques qu'ils présentent sur le long terme pendant plusieurs dizaines ou centaines de milliers d'années. La loi du 28 juin 2006 (6) donne ainsi à l'Andra la mission de concevoir et d'implanter le centre de stockage réversible qui accueillera ces déchets ultimes : le centre industriel de stockage géologique Cigéo. La protection de la santé et de l'environnement est l'objectif fondamental de cette installation.

La profondeur du stockage, sa conception, son implantation dans une roche argileuse imperméable et dans un environnement géologique stable permettent d'isoler les déchets vis-à-vis des activités humaines et des événements naturels de surface, comme l'érosion, et de confiner les substances radioactives qu'ils contiennent sur de très longues échelles de temps.

Une fois l'installation refermée, celle-ci ne nécessite plus d'actions humaines. Ainsi, la charge de la gestion des déchets n'est pas reportée sur les générations futures, tout en assurant leur protection.

### 1.3 Objet de la proposition de PDE

La proposition de PDE décrit le déroulement de référence du projet Cigéo, c'est-à-dire l'inventaire des déchets à y stocker et les différentes étapes successives de réalisation des installations industrielles, d'exploitation et de fermeture de Cigéo, telles qu'envisagées par l'Andra sur la base des études menées jusqu'en 2015 (cf. § 2 ci-après).

Le processus de mise en œuvre industrielle de Cigéo, notamment la phase industrielle pilote prévue au démarrage de l'installation, est plus particulièrement explicité (cf. § 3 ci-après).

La proposition de PDE décrit également comment Cigéo, dans le cadre de la réversibilité et sur toute la durée de son exploitation, est à même de ne pas enfermer les générations futures dans nos choix, mais de leur offrir des options en termes de gestion de déchets radioactifs (cf. § 4 ci-après). Ces choix peuvent porter sur les futurs développements de l'installation, sur des modifications d'inventaire, en particulier en cas de modification de la politique énergétique du pays (par exemple une décision de stocker des combustibles usés), ou sur des retraits de colis stockés.

La proposition de PDE sera soumise aux parties intéressées pour concertation selon le principe d'échanges schématisé ci-après.

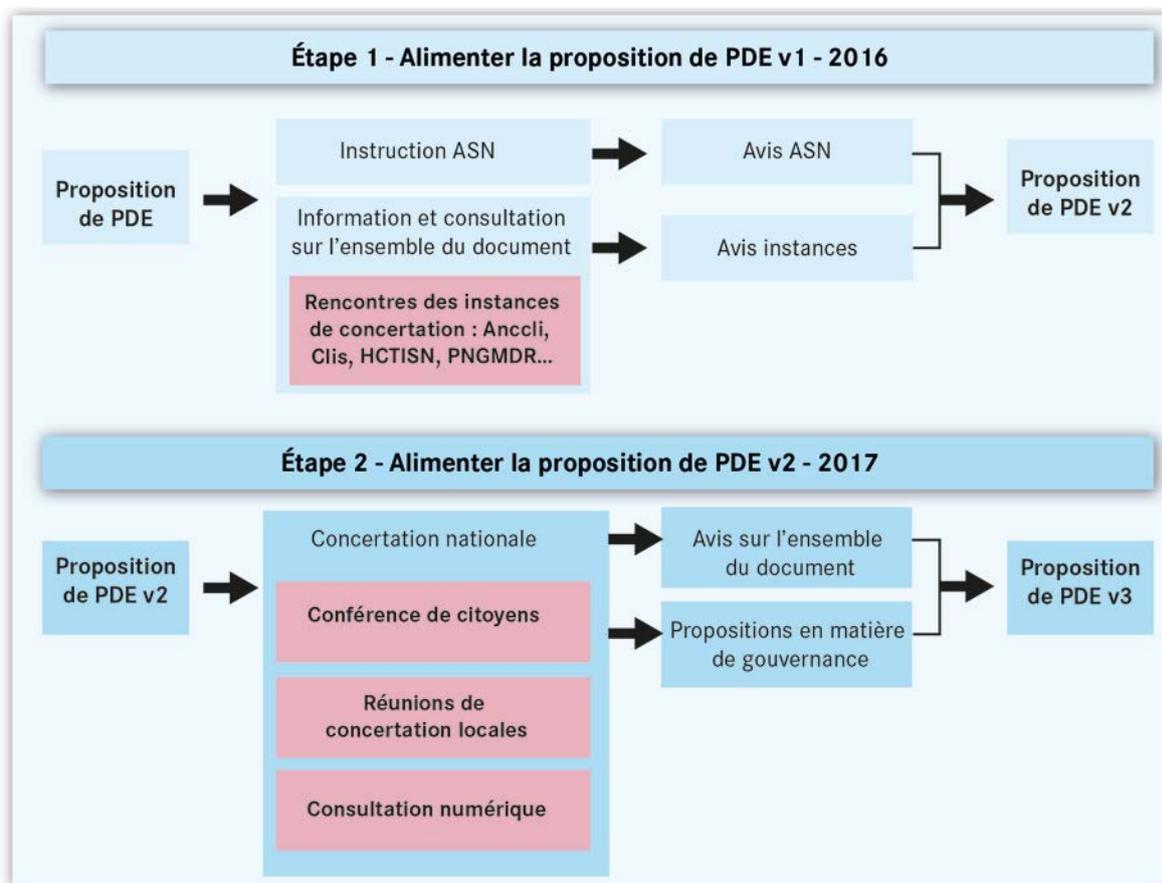


Figure 1-1 Schéma de principe des échanges pour la concertation de la proposition de PDE

La proposition de PDE sera instruite par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN).

Après concertation avec les parties intéressées et retour de l'ASN, la proposition de PDE sera soumise à l'Etat. Puis, selon la même logique, au fur et à mesure du déroulement du projet, l'Andra soumettra de façon périodique des propositions de mise à jour du PDE. Ces propositions interviendront, notamment pour la mise en service de Cigéo, à l'issue de la phase industrielle pilote et *a minima* tous les 10 ans. Elles prendront en compte le retour d'expérience de Cigéo, l'évolution des connaissances, notamment

issue des études et recherches sur les opérations de gestion des déchets radioactifs complémentaires au stockage. De telles études seront poursuivies par l'Andra et les producteurs de déchets en vue d'une gestion optimisée des déchets radioactifs (cf. § 2.4 et 4 du présent document).

Le présent document n'est pas conçu comme un document technique. Il préfigure un outil de support à la gouvernance du projet ayant pour finalité d'être mis à jour périodiquement pour intégrer les décisions prises durant toute l'exploitation de Cigéo.

Dans l'optique d'une implication des parties intéressées, la proposition de PDE détaille le calendrier des jalons décisionnels envisagé à ce stade.

# 2

---

## Le déroulement de référence du projet Cigéo

---

<b>2.1</b>	<b><i>Inventaire des déchets à stocker dans Cigéo</i></b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b><i>Présentation de Cigéo</i></b>	<b>26</b>
<b>2.3</b>	<b><i>Principales phases temporelles de développement de Cigéo</i></b>	<b>27</b>
<b>2.4</b>	<b><i>La conception</i></b>	<b>28</b>
<b>2.5</b>	<b><i>La construction initiale</i></b>	<b>31</b>
<b>2.6</b>	<b><i>L'exploitation</i></b>	<b>34</b>
<b>2.7</b>	<b><i>La fermeture définitive</i></b>	<b>40</b>
<b>2.8</b>	<b><i>Synthèse du déroulement de référence</i></b>	<b>43</b>

## 2.1 Inventaire des déchets à stocker dans Cigéo

### 2.1.1 Introduction

Cigéo est conçu pour gérer des déchets ultimes dont le niveau de radioactivité et la durée de vie ne permettent pas de les stocker de manière sûre, à long terme, en surface ou à faible profondeur. Ces déchets, produits essentiellement par AREVA, le CEA et EDF, proviennent principalement du secteur de l'industrie électronucléaire et des activités de recherche associées, ainsi que, dans une moindre mesure, des activités liées à la défense nationale. Ils représentent un volume limité (de l'ordre de 3 % du volume des déchets radioactifs existants actuellement) et concentrent la quasi-totalité de la radioactivité des déchets radioactifs (plus de 99 %).

Par déchets ultimes, on entend des déchets « *qui ne peuvent plus être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de leur part valorisable ou par réduction de leur caractère polluant ou dangereux* » (Article L542-1-1 du Code de l'environnement).

Les déchets destinés à Cigéo recouvrent les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et les déchets de haute activité (HA). Conformément à la réglementation en vigueur (7), le décret de création de Cigéo fixera l'inventaire de référence des déchets qui pourront y être stockés.

Les déchets MA-VL contiennent des quantités importantes de radionucléides à période radioactive longue et leur niveau de radioactivité se situe en général entre un million et un milliard de becquerels par gramme<sup>1</sup>. Il s'agit principalement :

- de résidus issus des combustibles nucléaires irradiés après traitement ;
- de composants ayant séjourné dans des réacteurs nucléaires ;
- de déchets technologiques issus de la maintenance des installations nucléaires, de laboratoires, d'installations liées à la défense nationale et du démantèlement de ces différentes installations.

Les déchets HA présentent un niveau de radioactivité de plusieurs milliards de becquerels par gramme et dégagent de la chaleur. Certains des radionucléides qu'ils contiennent ont des périodes très longues<sup>2</sup>. Les déchets HA sont essentiellement des résidus qui ont été extraits des combustibles nucléaires lors de leur traitement (produits de fission et actinides mineurs), puis vitrifiés. On distingue les déchets « HA0 », modérément thermiques, des déchets dont la puissance thermique est plus importante (notés HA1 et HA2).

Les déchets sont reçus sur Cigéo sous forme de colis de déchets conditionnés (par vitrification, cimentation, bitumage, compactage...)<sup>3</sup>. Le conditionnement des déchets, effectué sur des sites d'AREVA, du CEA ou d'EDF, consiste à les solidifier et à les immobiliser sous une forme non dispersable et à les placer dans un conteneur conçu pour en faciliter la manutention, l'entreposage, le transport et le stockage. Les colis de déchets conditionnés reçus sur Cigéo sont aussi appelés « colis primaires », pour les distinguer des « colis de stockage ». Ces derniers désignent les colis tels qu'ils sont stockés dans Cigéo. Ils résultent de l'ajout éventuel d'un conteneur de stockage, opération réalisée dans une installation de surface de Cigéo (cf. § 2.2 du présent document), avant transfert vers l'installation souterraine de stockage.

---

<sup>1</sup> Le becquerel (Bq) mesure le niveau de radioactivité (appelé activité) c'est-à-dire le nombre de désintégrations par seconde : 1 Bq = 1 désintégration par seconde. Par comparaison, l'activité des déchets gérés au Centre de stockage de l'Aube se situe en général entre quelques centaines de becquerels et un million de becquerels par gramme.

<sup>2</sup> Deux millions d'années par exemple pour le neptunium 237

<sup>3</sup> Lorsqu'ils sont produits, les déchets radioactifs se trouvent sous forme brute, gazeuse, liquide ou solide. Pour pouvoir gérer ces déchets, il est nécessaire de les conditionner, c'est-à-dire de fabriquer des « colis de déchets ». Le conditionnement peut être défini comme l'ensemble des opérations consistant à introduire ces déchets, éventuellement traités au préalable, dans un conteneur, où ils peuvent être incorporés ou non dans un matériau d'enrobage, pour former un colis de déchets.

### 2.1.2 Principales hypothèses

Cigéo est conçu pour stocker les déchets déjà produits et ceux qui seront produits à l'avenir par les installations nucléaires existantes et par celles dont la création a été autorisée, jusqu'au terme prévisible de leur exploitation<sup>4</sup> puis de leur démantèlement. Les principales installations concernées sont identifiées en annexe 1.

Certains déchets produits devront être conditionnés avant leur envoi vers Cigéo. Des hypothèses de conditionnement doivent donc être définies pour qualifier les volumes à stocker que les déchets déjà produits représenteront *in fine*. Plus généralement, le volume prévisionnel des colis de déchets restant à produire est défini sur la base d'hypothèses en matière, d'une part d'exploitation des installations, d'autre part de production et de conditionnement de déchets qui en résulte.

Pour ce faire, AREVA, le CEA et EDF ont défini un scénario industriel d'exploitation de leurs installations nucléaires en accord avec leurs tutelles et conformément aux orientations de la programmation énergétique. Ces hypothèses relèvent d'un cadre plus large que le projet Cigéo. La capacité de Cigéo à s'adapter à d'éventuelles évolutions de ces hypothèses est étudiée dans le cadre de la réversibilité du projet (cf. § 4.4 du présent document).

La durée d'exploitation prise en référence est de 50 ans en moyenne pour l'ensemble des réacteurs en service du parc électronucléaire et pour le réacteur EPR de Flamanville en construction. Cette durée de 50 ans est à considérer comme une moyenne indicative, une durée de fonctionnement moindre de certains réacteurs pouvant en effet compenser, du point de vue des déchets produits, une durée de fonctionnement supérieure pour d'autres. Ce scénario ne préjuge pas des résultats du réexamen décennal de sûreté des réacteurs, ni des modalités liées, le cas échéant, à l'allongement de la durée d'exploitation de ces réacteurs au-delà des 50 ans d'exploitation pris en référence.

La totalité des combustibles usés est supposée traitée, y compris les combustibles non complètement épuisés en fin de vie des réacteurs (derniers cœurs et réserves de gestion<sup>5</sup>). Le traitement des combustibles MOX à partir de l'horizon 2030<sup>6</sup> permettra de valoriser le plutonium qu'ils contiennent en le recyclant dans un futur parc électronucléaire comprenant *a priori* des réacteurs à neutrons rapides de quatrième génération. Les déchets produits par ce futur parc ne sont pas pris en compte ici, évitant d'anticiper sur des décisions futures. Le scénario industriel considère par convention que les installations de traitement du combustible adaptent leur durée de fonctionnement à celle du parc électronucléaire actuel.

Pour les installations de recherche (réacteurs et laboratoires CEA) actuellement en exploitation, leur durée de fonctionnement est supposée être de 50 ans. Il en est de même pour le réacteur Jules Horowitz actuellement en construction. L'installation ITER est supposée exploitée pendant 20 ans.

### 2.1.3 Données quantitatives

Les tableaux suivants fournissent les volumes<sup>7</sup> de colis primaires de déchets HA et MA-VL destinés à Cigéo, résultant des hypothèses ci-avant. Il est à noter que les volumes correspondant aux déchets déjà produits représentent environ 30 % des colis de déchets HA et 60 % des colis de déchets MA-VL.

Des marges ont été prises pour couvrir des incertitudes sur le volume de déchets futurs à produire ou de déchets anciens devant faire l'objet d'opérations de reprise et conditionnement, sur les modalités de conditionnement et sur les caractéristiques de certains déchets.

<sup>4</sup> Dans le présent document le terme exploitation correspond au « fonctionnement » de l'installation. L'exploitation de Cigéo est suivie par sa fermeture définitive (cf. § 2.3 du présent document).

<sup>5</sup> Les réserves de gestion correspondent à des assemblages combustibles présentant encore un potentiel énergétique résiduel significatif. Ces combustibles sont conservés afin d'être éventuellement réintroduits en cœur, en remplacement d'assemblages ayant subi une avarie de manutention par exemple.

<sup>6</sup> Cela concerne aussi les combustibles URE fabriqués à partir d'uranium recyclé.

<sup>7</sup> Les volumes indiqués correspondent au volume d'eau qui serait déplacé par immersion des colis primaires.

Tableau 2-1 : Volume<sup>7</sup> des colis primaires de déchets HA destinés à Cigéo

	Inventaire de Cigéo (m <sup>3</sup> )	Volume déjà produit au 31/12/2014 (m <sup>3</sup> ) (données de l'Inventaire national)
Déchets vitrifiés	10 025	3 281
<i>dont déchets HA0</i>	729	<i>Non renseigné dans l'IN<sup>8</sup></i>
Autres déchets HA (sources scellées usagées, déchets technologiques...) <sup>9</sup>	47	53
<b>TOTAL</b>	<b>~10 100</b>	<b>~3 334</b>

Tableau 2-2 : Volume<sup>7</sup> des colis primaires de déchets MA-VL destinés à Cigéo

	Inventaire de Cigéo (m <sup>3</sup> )	Volume déjà produit au 31/12/2014 (m <sup>3</sup> ) (données de l'Inventaire national)
Déchets de structure de combustibles usés <sup>10</sup>	13 585	6 106
Déchets d'exploitation et de démantèlement	60 024	37 290
<i>dont déchets de démantèlement à produire</i>	<i>12 500</i>	<i>Non renseigné dans l'IN<sup>8</sup></i>
<b>TOTAL</b>	<b>~73 600</b>	<b>~43 396</b>

La répartition des volumes à stocker entre les différentes familles de colis HA et MA-VL de l'Inventaire national (IN) est détaillée en annexe 2. Ils représentent respectivement environ 60 000 et 180 000 colis primaires.

Les volumes des combustibles usés et des déchets qui pourraient éventuellement faire l'objet d'un stockage dans Cigéo (cf. § 4.4 du présent document), si une décision de modification de son inventaire de référence était prise dans le cadre de l'adaptabilité de Cigéo, ne sont pas présentés dans les tableaux ci-avant.

#### 2.1.4 Modalités prévisionnelles de livraison

Dans l'attente de leur expédition vers Cigéo, les colis de déchets sont entreposés sur les sites d'AREVA, du CEA et d'EDF. L'expédition des premiers colis de déchets s'effectuera pour la mise en service de Cigéo (sous réserve d'autorisation). Elle s'étalera ensuite sur toute la période d'exploitation de Cigéo (cf. § du 2.6 présent document), permettant de résorber progressivement les volumes entreposés.

Les déchets HA1 et HA2 nécessitent en tout état de cause une phase d'entreposage préalable avant leur expédition. En effet, leur activité et corollairement leur dégagement thermique doivent avoir suffisamment décru pour qu'ils puissent être transportés et stockés. Ainsi, ils ne seront pas expédiés vers Cigéo avant 2075. Entre la mise en service de Cigéo et 2075, seuls des déchets MA-VL et HA0 seront ainsi reçus sur le site.

La réception en parallèle de déchets HA0 et MA-VL est envisagée dès la phase industrielle pilote, afin d'exploiter les installations de Cigéo avec des colis de déchets représentatifs de l'ensemble de

<sup>8</sup> IN pour « Inventaire national ».

<sup>9</sup> La différence de 6 m<sup>3</sup> est liée à une évolution de l'inventaire en déchets technologiques HA (postérieure à l'élaboration du scénario industriel des producteurs) déjà prise en compte dans les déclarations des stocks de l'Inventaire national (IN) à fin 2014.

<sup>10</sup> Les déchets de structure sont constitués des pièces métalliques des assemblages combustibles, séparées lors du traitement.

l'inventaire (voir § 3.3.1 du présent document). Le rythme de réception de colis de déchets augmentera de manière progressive.

Les producteurs de déchets définissent le planning prévisionnel d'expédition, ainsi que les modalités techniques de livraison, en particulier les emballages de transport et les moyens de transport adaptés (fer et route). Ces données sont intégrées par l'Andra dans la conception de Cigéo. Lors de la phase d'exploitation, un planning opérationnel d'expédition sera défini et tenu à jour. Les expéditions de convois donneront lieu à un accord de livraison délivré par l'Andra.

Les capacités d'entreposage actuellement disponibles sur les sites de producteurs ne suffisent pas à gérer l'ensemble des déchets inventoriés avant leur expédition vers Cigéo. Aussi, des projets de nouveaux entrepôts sont gérés par les producteurs<sup>11</sup>. Au final, les capacités d'entreposage des producteurs pourront s'adapter au planning d'exploitation de Cigéo. Les besoins en entreposage sont évalués périodiquement et suivis dans le cadre du plan national pour la gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR).

### 2.1.5 Synthèse de l'inventaire des déchets à stocker dans Cigéo

Cigéo est conçu pour stocker les déchets déjà produits et ceux qui seront produits à l'avenir par les installations nucléaires existantes et par celles dont la création a été autorisée, jusqu'au terme prévisible de leur exploitation, puis de leur démantèlement.

La durée d'exploitation du parc électronucléaire prise en référence est de 50 ans pour tous les réacteurs, y compris le réacteur EPR de Flamanville en construction. La totalité des combustibles usés est supposée traitée. La durée de vie des installations du cycle est adaptée à celle du parc électronucléaire. Pour les installations de recherche (réacteurs et laboratoires CEA) actuellement en exploitation, leur durée de fonctionnement est supposée être de 50 ans. Il en est de même pour le réacteur Jules Horowitz actuellement en construction. L'installation ITER est supposée fonctionner pendant 20 ans.

Les déchets destinés à Cigéo recouvrent les déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL) et les déchets de haute activité (HA). L'inventaire de référence de Cigéo est de 73 600 m<sup>3</sup> de déchets MA-VL et 10 100 m<sup>3</sup> de déchets HA.

Les déchets MA-VL contiennent des quantités importantes de radionucléides à période radioactive longue et leur niveau de radioactivité se situe en général entre un million et un milliard de becquerels par gramme. Les déchets HA présentent un niveau de radioactivité de plusieurs milliards de becquerels par gramme et dégagent de la chaleur. Certains des radionucléides qu'ils contiennent ont des périodes très longues. On distingue les déchets « HA0 » modérément thermiques, des déchets « HA1 » et « HA2 » dont la puissance thermique est plus importante.

Les déchets HA1 et HA2 nécessitent une phase d'entreposage préalable avant leur expédition (décroissance de leur activité et de leur dégagement thermique). Ils ne seront pas expédiés vers Cigéo avant 2075. Entre la mise en service de Cigéo et 2075, seuls des déchets MA-VL et HA0 seront reçus sur le site.

<sup>11</sup> Certains entrepôts nouveaux sont d'ores et déjà en construction.

## 2.2 Présentation de Cigéo

Le projet de stockage réversible Cigéo comprend un ensemble d'installations constituant une seule et même installation nucléaire de base (INB). Cigéo comporte :

- des installations de surface, réparties en deux ensembles distincts :
  - ✓ la zone dédiée à la réception des colis primaires HA et MA-VL, à leurs contrôles et à leur préparation pour le stockage (dite zone « descendrie »). Dans cette zone, la première installation construite (EP1) est utilisée pour la réception des colis HA0 et MA-VL. La seconde (EP2) est envisagée pour la réception des colis HA1 et HA2. Cette zone est adjacente au Laboratoire souterrain dont l'exploitation est actuellement autorisée jusqu'en 2030 (8) ;
  - ✓ la zone dédiée aux activités de support aux travaux souterrains (dite zone « puits »). Cette zone comporte notamment les têtes des puits verticaux et des verses pour le stockage des roches extraites du sous-sol lors des opérations de creusement ;
- une installation souterraine composée :
  - ✓ de descendries (tunnels inclinés) permettant notamment le transfert dans le stockage des colis au moyen d'un funiculaire et de puits verticaux permettant l'accès du personnel et les transferts d'équipements et de matériaux pour les travaux ;
  - ✓ de zones de stockage des colis comportant des alvéoles de stockage et des galeries. Des zones spécifiques sont dédiées aux colis HA0, MA-VL et HA1/HA2 ;
  - ✓ d'une zone de soutien logistique.

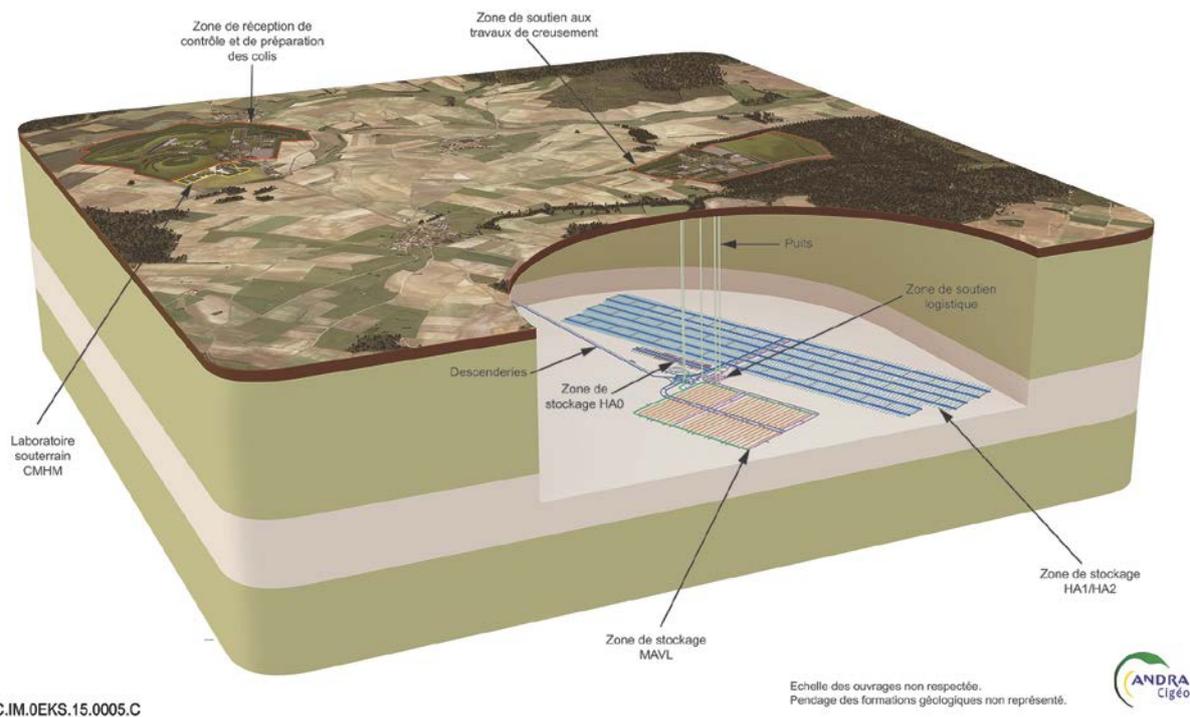


Figure 2-1 Vue 3D des installations de surface et souterraine de Cigéo (schéma à fin d'APS)

Par ailleurs, un ensemble d'installations conventionnelles de surface (poste de garde, bâtiment d'accueil du public, parkings, terminal fret pour transport ferroviaire des matériaux de construction...) et d'aménagements (postes électriques, liaison ferroviaire, adduction d'eau...) est réalisé à proximité de l'INB.

## 2.3 Principales phases temporelles de développement de Cigéo

Le projet Cigéo se développe selon les phases temporelles successives suivantes :

- la **conception initiale** de l'installation (études d'esquisse, études d'avant-projet sommaire, études d'avant-projet définitif, études projet et études d'exécution) (9), phase pendant laquelle les ouvrages, bâtiments et procédés de l'installation sont définis techniquement. C'est la phase dans laquelle le projet se situe actuellement. La conception de Cigéo fait l'objet d'évaluations régulières (ASN, Commission nationale d'évaluation, revues industrielles). Elle inclut le dépôt de la demande d'autorisation de création (DAC). Pendant la phase de conception initiale, des premiers travaux sur le site, notamment des diagnostics (archéologie préventive, reconnaissance géotechnique, reconnaissance géologique et hydrogéologique, préparation aux travaux, installations support hors site) peuvent être menés ;
- la **construction initiale** de Cigéo pendant laquelle une première partie, ou première « tranche<sup>12</sup> », de l'installation est réalisée. Elle porte principalement, sous réserve que Cigéo soit autorisé, sur la construction des bâtiments de surface liés à l'exploitation de l'installation nucléaire de surface, les liaisons surface-fond, ainsi que les ouvrages souterrains permettant de recevoir de premiers colis de déchets. Pendant la construction initiale (en fonction du planning des travaux), des études d'exécution des composants et des équipements sont menées jusqu'à leur réalisation effective ;
- l'**exploitation** qui se déroule pendant une centaine d'années et au cours de laquelle ont lieu simultanément des opérations de réception et de mise en stockage de colis et des travaux d'extension de l'installation souterraine, par tranches successives, afin de poursuivre la réception des colis de l'inventaire. L'exploitation démarre après l'autorisation de mise en service délivrée par l'ASN (réception de premiers colis de déchets radioactifs utilisés pour des essais actifs). L'exploitation comporte également, sous réserve d'autorisation, des travaux de fermeture partielle (obturation d'alvéoles et de zones de stockage). De plus, des travaux de construction, d'adaptation et de jouvence des bâtiments en surface sont engagés. Pendant l'exploitation de Cigéo, les études sont poursuivies pour améliorer sa conception, notamment pour l'optimisation des tranches successives ;
- sous réserve de son autorisation par une loi<sup>13</sup>, la fermeture définitive de Cigéo et la déconstruction des installations de surface. Cigéo entre dans sa **phase de surveillance**.

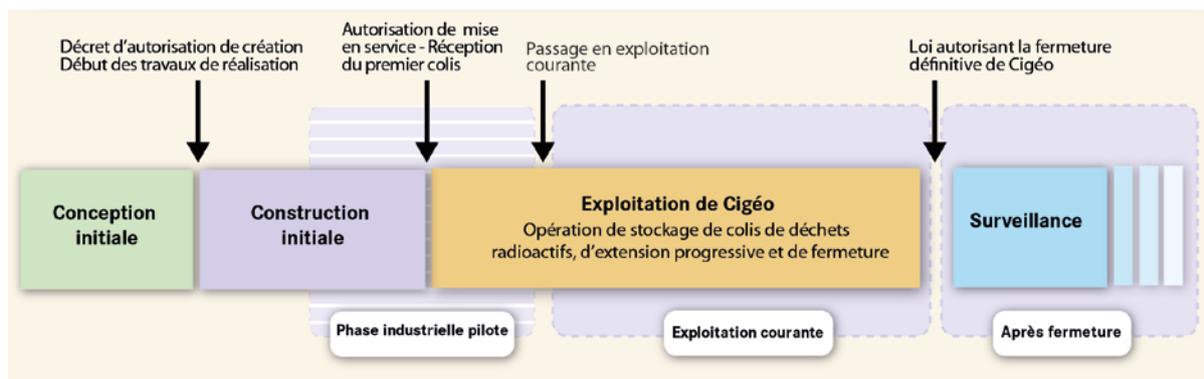


Figure 2-2 Schéma des principales phases temporelles de Cigéo

Une **phase industrielle pilote** est prévue au démarrage de Cigéo. Elle débute pendant la construction initiale et se poursuit au début de son exploitation. Elle comporte des opérations en « inactif », notamment des essais sur les équipements installés, ainsi que des opérations en « actif », c'est-à-dire en présence de colis de déchets. La phase industrielle pilote, son rôle et ses objectifs sont décrits au chapitre 3 de la présente proposition de PDE.

<sup>12</sup> Une tranche correspond à un ensemble de bâtiments de surface et/ou d'ouvrages souterrains construits en engageant une tranche d'investissement, c'est-à-dire une partie du coût global de possession.

<sup>13</sup> L'article L542-10-1 du code de l'environnement dispose que « Lors de l'examen de la demande d'autorisation de création [d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs], la sûreté du centre est appréciée au regard des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive. Seule une loi peut autoriser celle-ci. »

## 2.4 La conception

La loi de programme relative à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs dispose que « *après entreposage, les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou à faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde* » et confie à l'Andra la responsabilité « *de concevoir, d'implanter, de réaliser et d'assurer la gestion (...) des centres de stockage de déchets radioactifs* » (6).

Pour mener ses recherches sur le stockage profond, l'Andra mobilise la communauté scientifique dans de nombreuses disciplines (sciences de la terre, des matériaux, de l'environnement, de l'instrumentation...). Elle est également fortement impliquée dans des projets internationaux, notamment avec ses homologues étrangers. L'Andra dispose par ailleurs, en propre, du Laboratoire souterrain en Meuse/Haute-Marne, de moyens de calculs numériques et de l'Observatoire pérenne de l'environnement, outils scientifiques conçus pour répondre aux besoins spécifiques de Cigéo en matière de recherche. Les études menées depuis plus de 20 ans ont été évaluées régulièrement par la CNE, l'ASN et des experts internationaux. Elles ont permis de démontrer la sûreté et de valider la faisabilité du stockage profond réversible Cigéo.

Sur la base des résultats de ces études et de leurs évaluations, l'Andra a lancé en 2010 la phase d'études dite de conception initiale (cf. § 2.3 ci-avant), visant à élaborer un avant-projet de Cigéo. Les études d'esquisse des installations ont été finalisées début 2013 et les études d'avant-projet ont été engagées. Pour ces études en cours, l'Andra s'appuie notamment sur des maîtres d'œuvre dont le travail est de concevoir, au degré de détail approprié, une installation industrielle sûre en vue de l'instruction par l'ASN de sa demande d'autorisation de création (DAC). La transmission de la DAC par l'Andra est prévue en 2018. Après le dépôt de la DAC, le travail de définition de Cigéo sera poursuivi par les études projet et les études d'exécution ayant pour but de préparer, sous réserve de la délivrance de l'autorisation de création, la construction des premiers ouvrages.

Par ailleurs, en complément aux études d'ingénierie confiées aux maîtrises d'œuvre, l'Andra poursuit en propre des études, essais et recherches pour préciser des options de conception, évaluer les propositions techniques des maîtres d'œuvre, mettre au point des techniques de réalisation, acquérir des éléments complémentaires de justification et de démonstration pour préparer le dossier de DAC de Cigéo et son instruction.

Comme indiqué au § 2.3, la conception de Cigéo sera poursuivie au-delà de la période de conception initiale, notamment dans le cadre de son amélioration continue et de son développement incrémental (cf. § 4.2 ci-après).

Les principales étapes de développement du projet de stockage des déchets HA et MA-VL depuis 1991 sont présentées sur la figure ci-après.

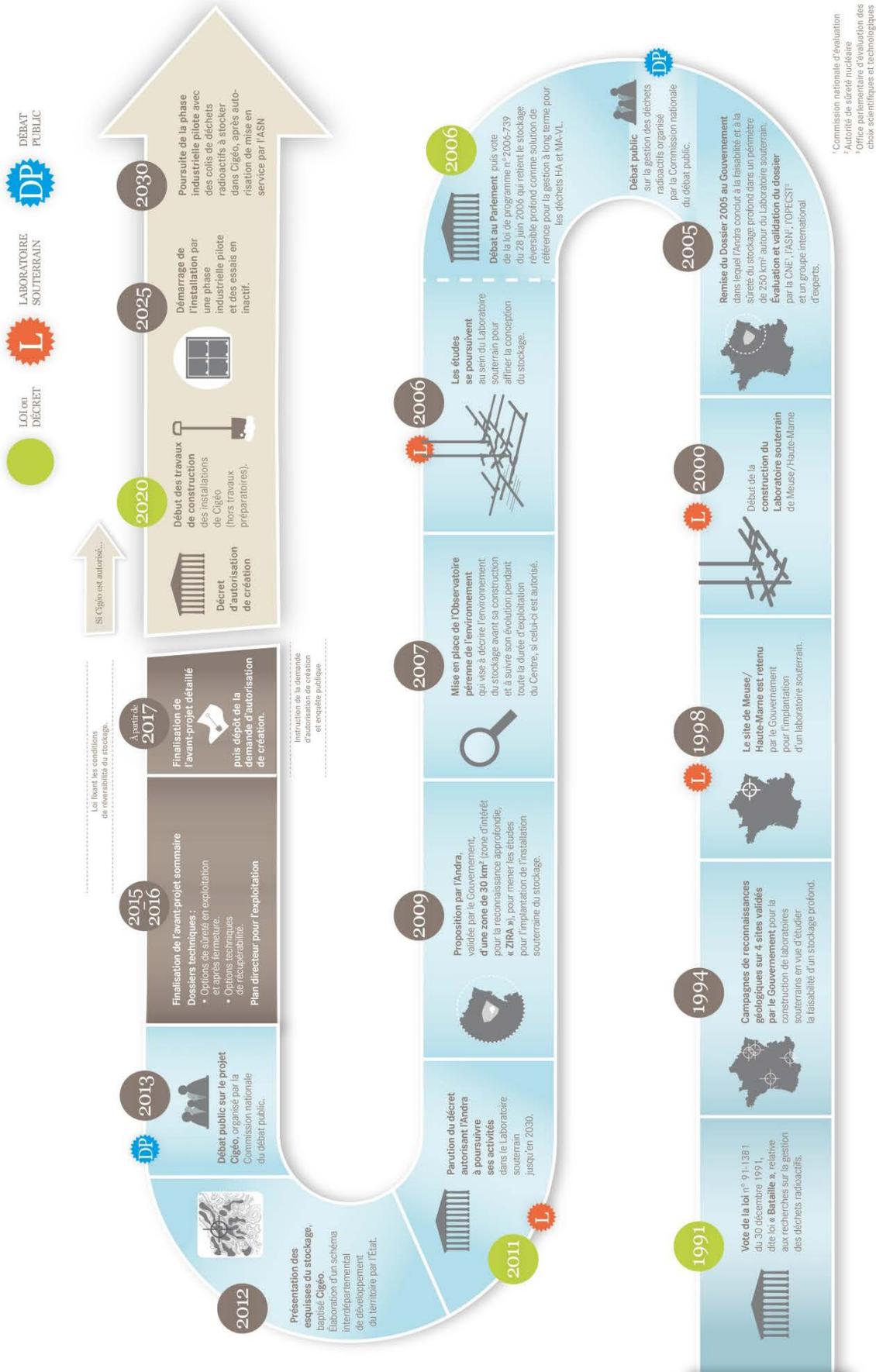


Figure 2-3 Principales étapes de développement du projet depuis 1991

Pour apprécier la progression technique des composants du projet Cigéo, pendant la phase de conception initiale et au-delà, l'Andra a choisi d'utiliser l'échelle internationale TRL (Technology Readiness Level) comme outil indicatif. Cette échelle internationale permet de quantifier le niveau de maturité technologique atteint par un élément (matériel, composant, système...). Elle fait l'objet d'une norme ISO (16290:2013). Développée principalement pour les systèmes spatiaux, l'échelle TRL peut être transposée à d'autres domaines pour évaluer l'état de maturité technique d'un projet ou pour mesurer la progression d'une technologie tout au long de son développement.

L'échelle TRL comporte neuf niveaux. Le niveau le plus bas (niveau 1) correspond à la découverte et à la compréhension, dans le cadre de la recherche académique, d'un phénomène physique présentant des applications potentielles (par exemple, la découverte de la radioactivité par Henri Becquerel en 1896). Le plus haut niveau (niveau 9) est atteint lorsque l'élément est complètement défini par un ensemble de procédés reproductibles incluant sa fabrication, ses tests et son exploitation et qu'il satisfait les exigences de performance qui lui sont assignées dans l'environnement opérationnel réel (par exemple le stockage de déchets radioactifs en surface pratiqué au CSA). L'atteinte du TRL 5 signifie que la faisabilité technologique de l'élément a été démontrée dans un environnement représentatif. C'est le niveau auquel se situent actuellement les principaux composants de Cigéo.

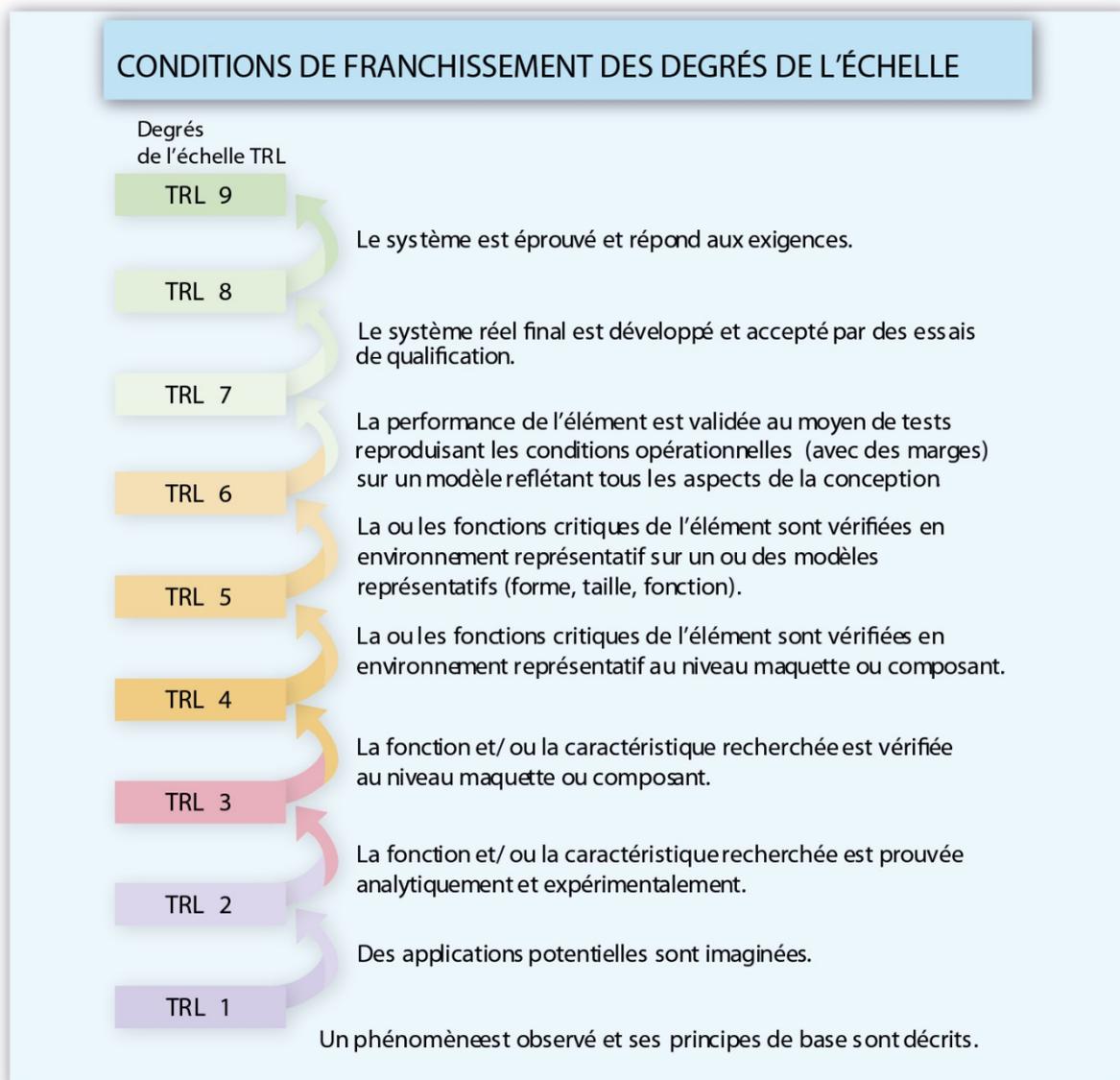


Figure 2-4 Échelle TRL pour l'évaluation du niveau de maturité technologique d'un élément

En vue de disposer à terme d'une installation permettant de rendre le service industriel attendu, les étapes de développement à franchir par le projet Cigéo consistent désormais à produire et à tester des éléments (conteneurs, équipements d'exploitation, scellements...) se rapprochant de façon progressive de la conception prévue pour les ouvrages du stockage en termes de taille, de matériaux utilisés, de méthode de réalisation et d'implantation et de conditions opérationnelles de fonctionnement.

Des essais en laboratoire, sur des modèles les plus représentatifs possibles de la conception finale, sont entrepris pour permettre, dans un premier temps, de progresser dans la conception des composants et d'appuyer la demande d'autorisation de création (atteinte du TRL6) en 2018.

Pour les étapes suivantes, compte tenu de la taille des équipements utilisés et des ouvrages à réaliser pour Cigéo (conteneurs de plusieurs tonnes, utilisation d'un funiculaire, galeries et ouvrages de stockage de section décimétrique...), la qualification de modes opératoires de réalisation<sup>14</sup> de Cigéo et la validation des performances des équipements ne pourront pas être réalisées dans le Laboratoire souterrain. En effet, les moyens logistiques du Laboratoire ne permettent pas d'y introduire les équipements et d'y réaliser les essais nécessaires pour Cigéo. Par ailleurs, l'introduction de déchets radioactifs n'y est pas autorisée. C'est donc uniquement dans Cigéo, au cours de la phase industrielle pilote (cf. § 3 du présent document), que pourront être franchies les étapes suivantes du développement des composants (TRL7 et 8) permettant d'aboutir, à terme, à une installation de stockage éprouvée, ayant montré sa capacité à prendre en charge des colis de déchets radioactifs et répondant aux exigences de sûreté et de réversibilité (TRL9). Son fonctionnement relèvera alors de l'exploitation courante.

L'Andra dispose d'un plan de développement des composants du stockage (10), dont une première version a été transmise à l'ASN, décrivant la stratégie des travaux de conception de Cigéo. Ce plan précise, par composant, l'enchaînement des études et recherches, des essais et de la réalisation du stockage, l'articulation des essais au Laboratoire souterrain et dans Cigéo et l'état prévisionnel des connaissances et des démonstrations technologiques aux principaux jalons. L'Andra précisera en 2018, dans le dossier de DAC, les étapes successives de développement des composants et les bilans qui seront établis à ce titre.

Les évolutions des composants qui seront introduites dans la conception de Cigéo dans le cadre du développement incrémental du projet, notamment dans les tranches ultérieures à la tranche initiale (T1) (cf. § 2.6.1 et 4.2 du présent document), seront développées et intégrées au stockage avec les mêmes étapes et selon une logique de développement identique. L'Andra précisera en 2018, dans le dossier de DAC, les évolutions de conception prévues pour les tranches ultérieures à la T1, le programme de développement de ces optimisations, les bilans associés et leurs dates prévisionnelles de mise en œuvre dans Cigéo (cf. § 3.3.6 du présent document). Le nombre et la nature de ces optimisations pourront naturellement être étoffés au fur et à mesure des progrès technologiques. A titre d'exemple, une liste d'optimisations choisies parmi celles identifiées à ce stade est présentée au sous-chapitre 3.3.6 du présent document.

## 2.5 La construction initiale

La phase de construction initiale est la période pendant laquelle, sous réserve de l'obtention du décret de création de Cigéo, sont engagés les travaux de construction des bâtiments, ouvrages, équipements et systèmes permettant de recevoir les premiers colis dans les installations de surface de Cigéo, puis de les stocker. Elle vise la mise à disposition de l'Andra, en tant qu'exploitant de Cigéo, de la première tranche de Cigéo (T1)<sup>15</sup>, opérationnelle pour la réception industrielle de colis de déchets en 2030. Le début des travaux de la phase de construction initiale est prévu en 2021, sous réserve de délivrance du décret d'autorisation de création de Cigéo.

La phase de construction initiale joue un rôle primordial dans le déroulement de référence de Cigéo. En effet, c'est dans les ouvrages construits lors de cette phase que sont menées les opérations de la

<sup>14</sup> La réalisation des ouvrages souterrains comprend le creusement, le soutènement et le revêtement.

<sup>15</sup> Bâtiments nucléaires dits EP1, bâtiments de surface liés à l'exploitation, liaisons surface-fond, installation souterraine de soutien, tout ou partie des alvéoles de stockage de colis HA0 et premiers alvéoles de stockage des colis MA-VL.

phase industrielle pilote pendant laquelle sont réalisées toutes les opérations (essais, démonstrateurs, exploitation, surveillance) nécessaires au bon démarrage de Cigéo et à la montée en régime de l'exploitation (cf. § 3 du présent document). Par ailleurs, ce seront les premiers à être mis en service pour la réception et le stockage de colis. Certains des ouvrages construits lors de cette phase, comme les descenderies, les puits ou la zone de soutien logistique (parties « exploitation » et « travaux »), seront utilisés sur toute la durée de l'exploitation de Cigéo. A ce titre, il importe qu'ils soient dimensionnés pour permettre et ne pas limiter le développement et la construction de toutes les tranches suivantes.

Les ouvrages souterrains réalisés lors de la construction initiale sont présentés schématiquement ci-après. L'architecture plus détaillée présentant les galeries et les alvéoles, ainsi que la succession des travaux est présentée en annexe 3. Il faut souligner que le nombre d'alvéoles du quartier HA0 construits en T1, présenté sur ce schéma, est donné à titre indicatif. Il correspond au nombre total d'alvéoles HA0 nécessaires pour le stockage de tous les colis HA0 de l'inventaire de référence. La part des alvéoles HA0 construits en T1 pourra être optimisée.

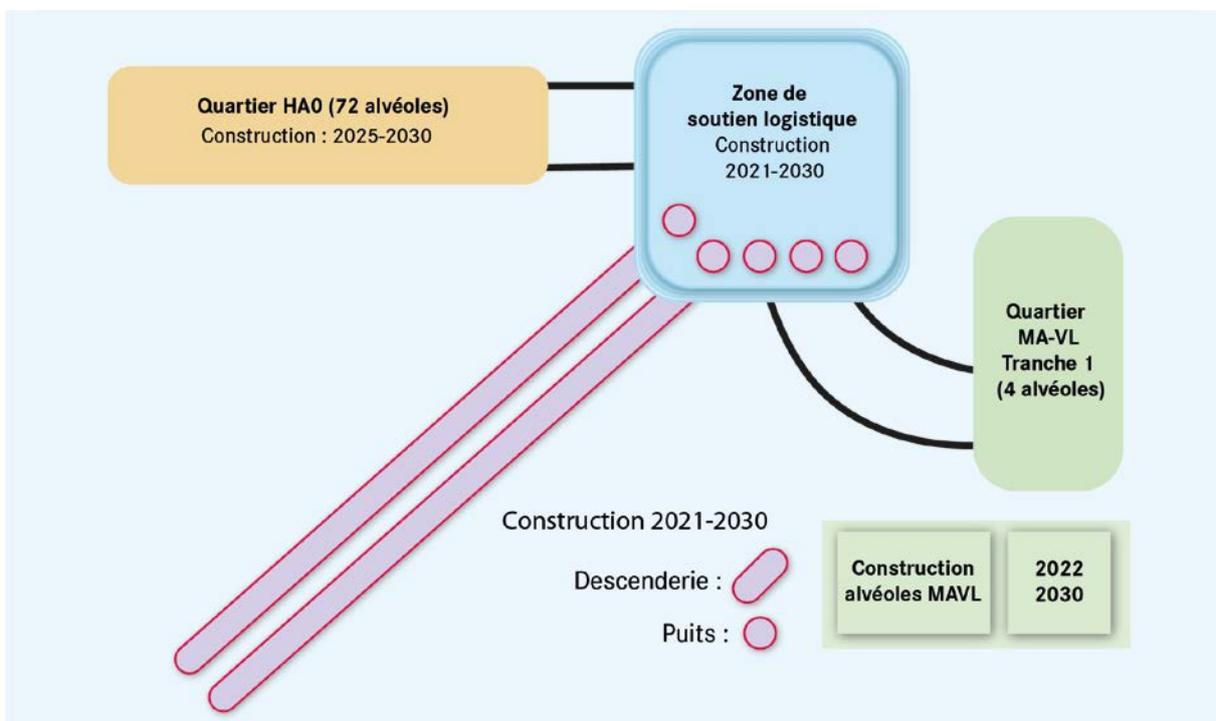


Figure 2-5 Représentation schématique des étapes de construction des ouvrages souterrains de la T1 (dates prévisionnelles à fin d'APS)

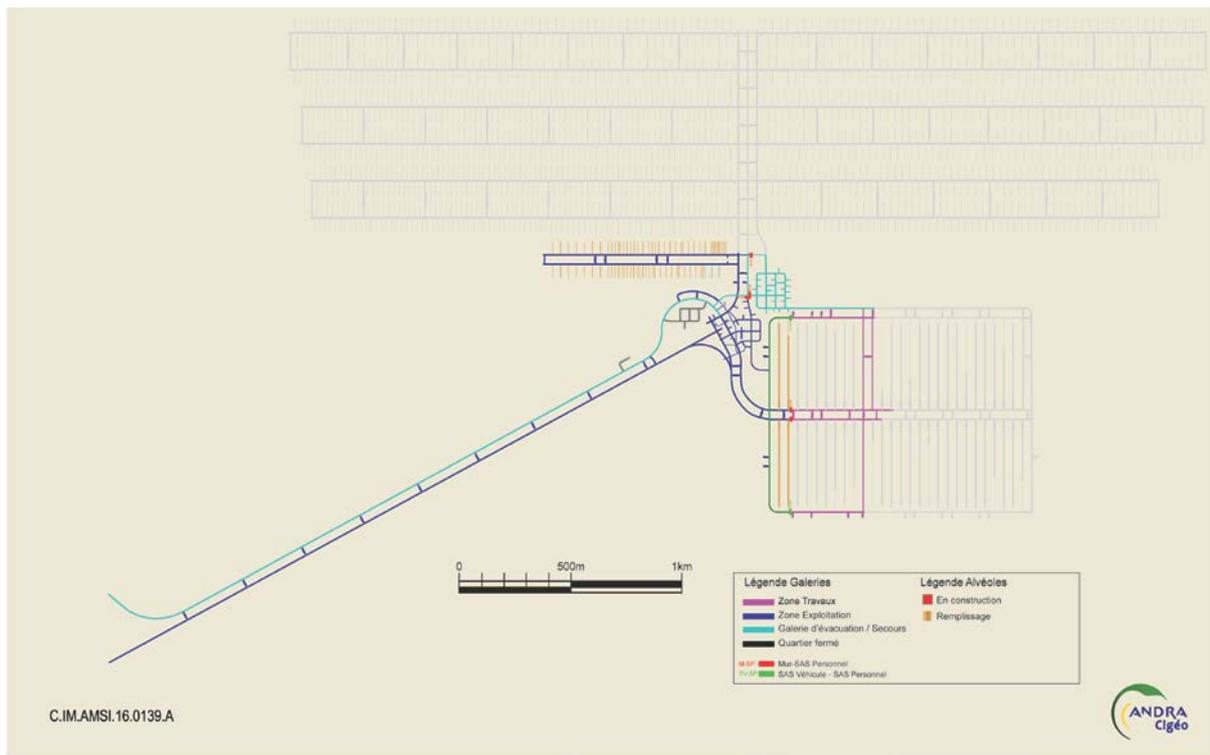


Figure 2-6 Représentation des ouvrages souterrains de la T1 (sur la base des études d'APS - voir détails en annexe 5)

Les ouvrages qui sont construits en surface sur la zone de réception, de contrôle et de préparation des colis (dite zone « descendière ») et sur la zone de soutien aux travaux de creusement (dite zone « puits ») sont présentés respectivement sur les vues ci-après.



Figure 2-7 Vue des ouvrages de surface de la zone de réception, de contrôle et de préparation des colis de la T1 (zone « descendière ») (sur la base des études d'APS)



Figure 2-8 *Vue des ouvrages de surface de la zone de soutien aux travaux de creusement de la T1 (zone « puits ») (sur la base des études d'APS)*

Préalablement à la phase de construction initiale, de premiers travaux et aménagements du site pourront être réalisés. Ces travaux sont de trois types :

1. Des diagnostics incluant, par exemple des études géotechniques, des forages pour l'étude de l'hydrogéologie de surface, des diagnostics d'archéologie préventive, des relevés topographiques. Ils sont nécessaires à la définition technique du projet et sont donc préalables au dépôt de la DAC. Ces travaux ont donc déjà débuté ;
2. Des travaux de préparation du site visant à viabiliser et à organiser l'emprise de l'installation pour les futures étapes de construction et d'exploitation (réalisation de voiries, mise en place des réseaux, préparation de l'alimentation en eau et en électricité...). Ces travaux ne seront engagés que sous réserve de l'obtention de leurs autorisations spécifiques. Sous réserve de ces autorisations, ils peuvent être engagés avant l'obtention de l'autorisation de création de Cigéo, les ouvrages correspondants n'ayant pas une destination exclusivement nucléaire. Ils pourraient être déconstruits facilement, voire utilisés pour d'autres fins dans le cas où Cigéo ne serait pas autorisé. Leur anticipation permet à l'Andra de respecter l'échéance de 2025 pour le démarrage de la phase industrielle pilote ;
3. Des travaux de préparation de la construction de l'installation nucléaire (terrassements, préparation et montage du tunnelier pour creusement des descenderies, creusement des bassins...). Ces travaux visent à permettre le démarrage de la construction de l'installation nucléaire dès l'obtention de son décret de création. Il est permis d'engager ce type de travaux dès la clôture de l'enquête publique portant sur la demande d'autorisation de création de l'INB. Pour le projet Cigéo, cette enquête publique est prévue vers 2020. Comme les travaux de préparation du site, leur anticipation permet à l'Andra de respecter l'échéance de 2025 pour le démarrage de la phase industrielle pilote.

## 2.6 L'exploitation

### 2.6.1 L'exploitation de Cigéo et la construction simultanée de zones de stockage

Après l'autorisation de mise en service de Cigéo délivrée par l'ASN, prévue vers 2030, les ouvrages construits lors la période initiale sont exploités pour le stockage des colis.

Puis, au fur et à mesure des besoins de stockage, les zones de stockage sont étendues de manière progressive. La première extension, correspondant à la deuxième tranche d'investissement (T2),

concerne le quartier MA-VL (ajout de six alvéoles) ; le début de sa construction est prévu en 2032, au cours de la phase industrielle pilote (cf. § 3 du présent document), sa mise en service en 2040.

Par la suite, pendant la centaine d'années prévue pour l'exploitation de Cigéo, l'installation souterraine se développe régulièrement pour permettre la réception de la totalité des colis de déchets. Dix nouvelles tranches (de T3 à T12) sont ainsi construites et mises en service successivement jusqu'à terminaison, c'est-à-dire jusqu'à la réalisation des ouvrages permettant de stocker tous les colis de l'inventaire de Cigéo.

Par rapport à la conception initiale, les évolutions de conception envisagées pour les tranches ultérieures à la T1 (cf. § 2.4 et 4.2 du présent document) seront, sous réserve de leur autorisation, intégrées au stockage au fur et à mesure de l'engagement des travaux de réalisation des tranches successives. Les jalons de sûreté et d'échanges associés à ces évolutions seront identifiés dans la DAC.

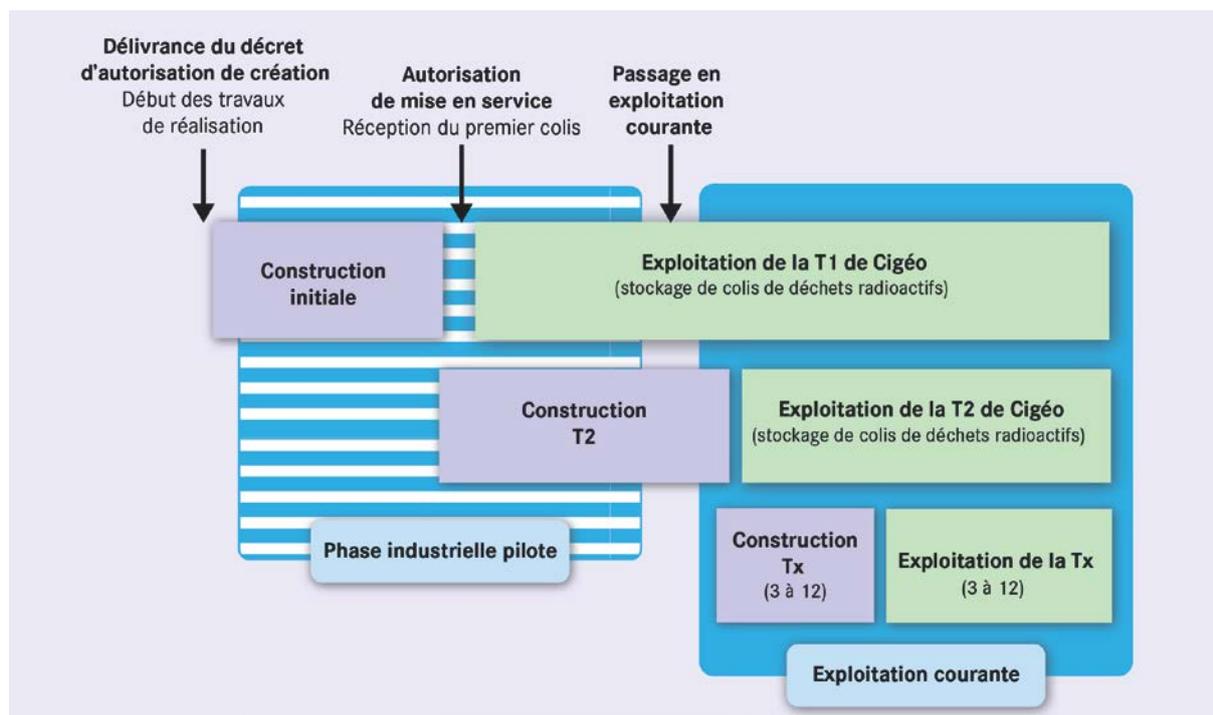


Figure 2-9 Schéma de l'enchaînement des travaux de construction et d'exploitation des tranches successives

Dans un premier temps, c'est principalement la zone de stockage des colis de déchets MA-VL qui est développée. Puis, vers 2070, la construction de la zone de stockage pour les colis HA1 et HA2 est entreprise. La durée de chaque tranche de construction est limitée à environ une dizaine d'années afin de s'inscrire plus aisément dans le processus de développement incrémental de Cigéo (cf. § 4.2 du présent document).

Pour des raisons de sûreté, les zones nucléaires en exploitation sont toujours séparées physiquement des zones en travaux (maîtrise des risques de coactivité). Ainsi, les travaux de construction peuvent être effectués sans impact sur la poursuite des opérations de mise en stockage (chantier clos et indépendant) (11).

Les ouvrages souterrains réalisés jusqu'à terminaison, ainsi que leurs dates de construction et de mise en service sont présentés schématiquement ci-après. L'architecture plus détaillée présentant les galeries et les alvéoles est présentée en annexe 3.

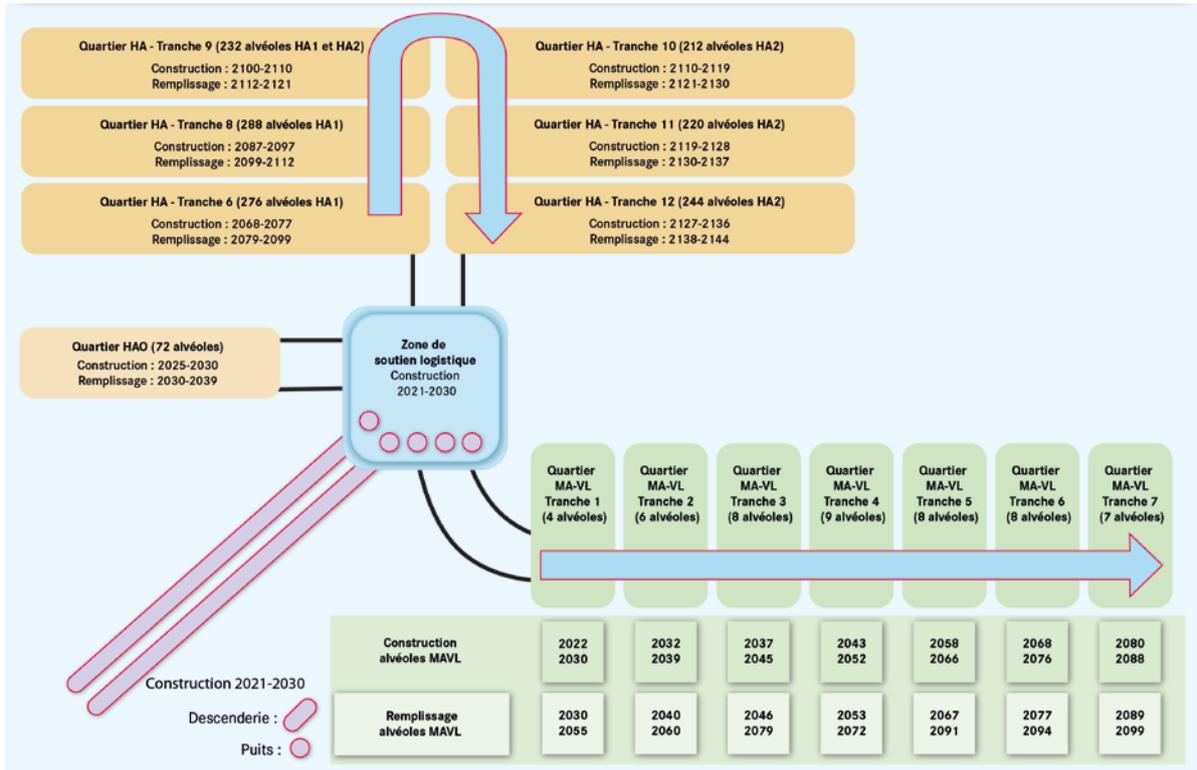


Figure 2-10

Représentation schématique des étapes de construction et d'exploitation des ouvrages souterrains à terminaison (dates prévisionnelles à fin d'APS) – les dispositions permettant de séparer les zones nucléaires en exploitation des zones en travaux ne sont pas représentées

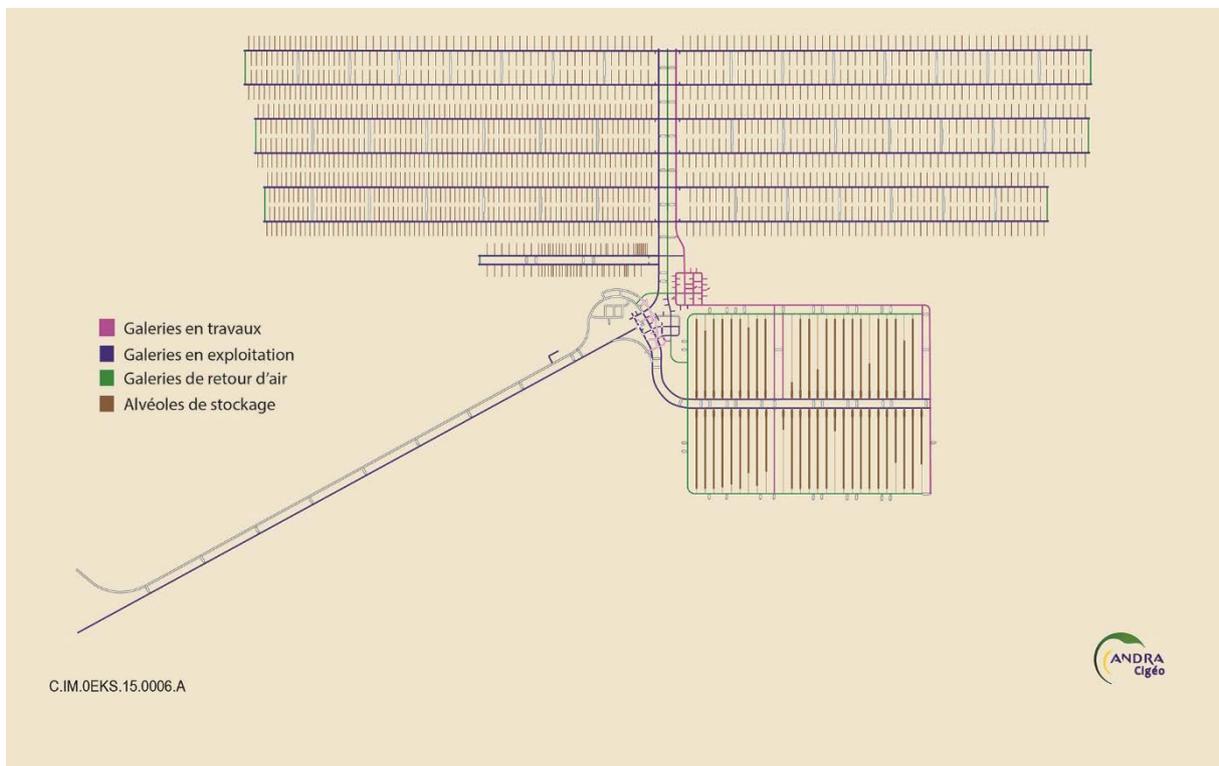


Figure 2-11

Représentation des architectures souterraines à terminaison (sur la base des études d'APS - voir détails en annexe 3)

Pour la réception des colis HA1 et HA2, de nouvelles installations (EP2) devront être construites en surface (vers 2068) sur les emprises conservées à cette fin dans la zone dédiée à la réception des colis primaires HA et MAVL, à leurs contrôles et à leur préparation pour le stockage.

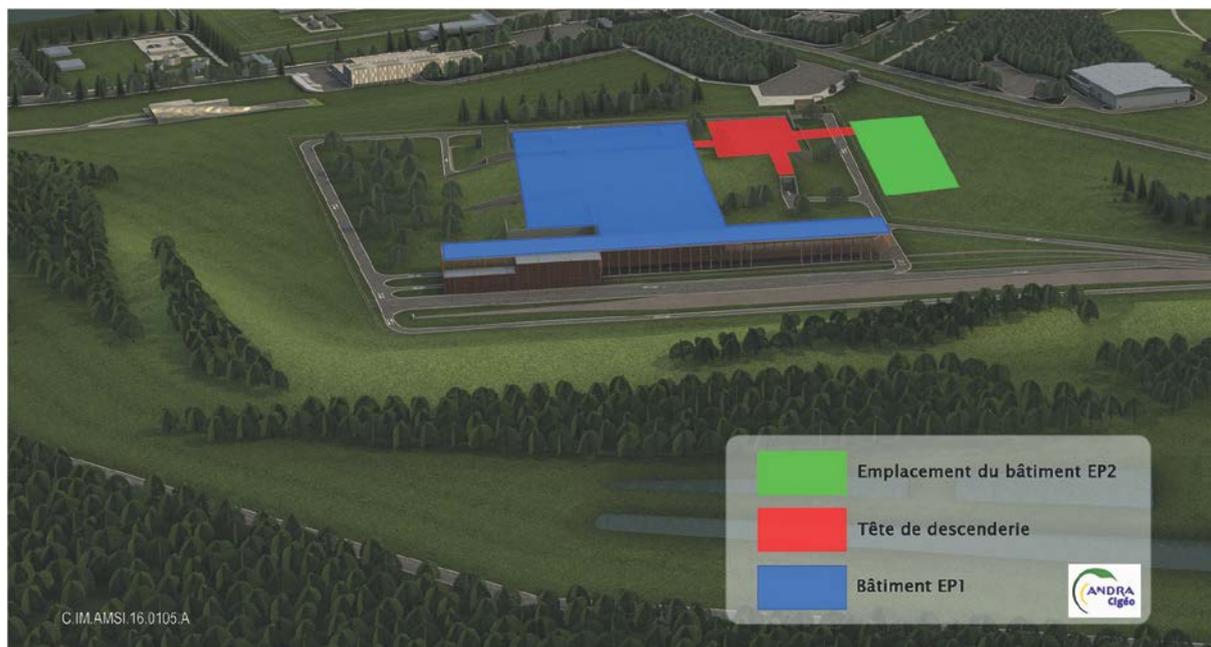


Figure 2-12 *Distribution schématique des bâtiments EP1, EP2 et tête de descenderie (sur la base des études d'APS)*

Après l'engagement des dépenses visant à la réalisation de la première tranche (T1), les investissements se poursuivent jusqu'à la fin de l'exploitation et de la fermeture définitive de l'installation souterraine et du démantèlement complet des installations de surface. Les besoins du projet et les investissements associés sont ainsi répartis sur une durée d'ordre séculaire.

### 2.6.2 La fermeture progressive

Pour garantir la mise en sécurité des déchets stockés sur de très longues périodes de temps, les ouvrages souterrains de Cigéo doivent être refermés. Cette fermeture se fait de façon progressive, selon un processus d'autorisation spécifique. Le milieu géologique est choisi et l'installation de stockage est conçue de telle sorte qu'après la fermeture définitive de l'installation, la sûreté est assurée de façon passive, c'est-à-dire que les personnes et l'environnement sont protégés des substances radioactives et des toxiques chimiques contenus dans les déchets radioactifs, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir (12).

Préalablement à la fermeture définitive de Cigéo (cf. § 2.7 du présent document), de premières opérations dites de fermeture « partielle », zone de stockage par zone de stockage, sont réalisées. En pratique, les opérations de fermeture partielle consistent au démontage des équipements d'exploitation et à la construction d'ouvrages, complémentaires de la barrière géologique, pour assurer le bon fonctionnement du stockage après sa fermeture définitive. En contrepartie de l'avancée vers un fonctionnement passif de l'installation, chaque opération de fermeture augmente le degré d'effort à mettre en œuvre pour un éventuel retrait de colis de déchets, si une telle décision venait à être prise. L'échelle internationale de récupérabilité (13) élaborée par l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation pour la coopération et le développement économique (OCDE) décline la capacité à retirer les colis de déchets en tenant compte de la progression vers le fonctionnement de plus en plus passif de l'installation. Cette échelle est présentée en annexe 4 au présent document.

Dans le cadre de la fermeture partielle, des ouvrages sont réalisés pour :

- obturer les alvéoles de stockage ;
- remblayer les galeries ;
- sceller des galeries<sup>16</sup>.

Le remblaiement des galeries se fera en réutilisant des déblais argileux excavés au moment du creusement et entreposés sur les verses en surface.

Cigéo est conçu pour que les opérations de fermeture partielle puissent être engagées par l'exploitant sur toute la période d'exploitation de Cigéo. En fonction du choix qui sera retenu, ces opérations peuvent être engagées, soit au plus tôt (dès la fin du remplissage des alvéoles), soit au plus tard (à la fin de l'exploitation de Cigéo), soit à des dates intermédiaires. La proposition de calendrier de fermeture présentée ci-après est donc flexible et pourra être adaptée dans le cadre de la réversibilité (cf. § 4 du présent document).

En phase d'avant-projet, l'Andra a mené des études visant à établir le schéma de fermeture de référence de Cigéo. Les objectifs poursuivis sont :

- la préservation des objectifs et des fonctions retenus pour garantir la sûreté après fermeture du stockage ;
- la sûreté en exploitation qui appelle principalement la limitation des risques de coactivité entre les activités nucléaires (exploitation et mise en stockage des colis) et les travaux de réalisation des ouvrages de fermeture ;
- la limitation de la perturbation générée par les opérations de fermeture sur les flux de mise en stockage ;
- la préservation d'une durée de surveillance importante des alvéoles et des quartiers de stockage (plusieurs dizaines d'années) ;
- la mise en œuvre d'une démarche progressive permettant d'acquérir de l'expérience sur les opérations de fermeture ;
- le maintien d'un haut niveau de récupérabilité pendant une durée importante (plusieurs dizaines d'années) ;
- l'optimisation technico-économique, en particulier la recherche d'une plus grande efficacité des travaux de fermeture en évitant leur fractionnement.

Par ailleurs, il a été spécifié que les travaux de fermeture du quartier HA0 ne devaient pas perturber l'exploitation de la zone de stockage HA1/HA2 (notamment au niveau des galeries desservant la zone de stockage HA1/HA2) et que sa date de fermeture devait permettre de disposer d'au moins 10 ans de retour d'expérience avant l'engagement des travaux de fermeture du quartier MA-VL. Elle est donc susceptible d'évoluer en cas de modification de ces jalons.

Les études menées à ce stade ont conclu que le schéma de fermeture optimum répondant aux objectifs cités ci-avant était de :

- fermer le quartier HA0 vers 2070 (environ 40 ans au plus haut niveau de surveillance et de récupérabilité) ;
- fermer le quartier MA-VL à l'issue de son remplissage vers 2100 (environ 70 ans au plus haut niveau de surveillance et de récupérabilité) ;
- fermer les quartiers HA1/HA2 à l'issue de leur remplissage vers 2145 (en fonction des quartiers jusqu'à environ 60 ans au plus haut niveau de surveillance et de récupérabilité).

Chaque quartier est fermé en une seule et même opération regroupant la construction des ouvrages d'obturation de tous les alvéoles et le remblaiement et le scellement des galeries nécessaires à sa fermeture. Cette disposition permet une organisation optimisée des travaux de fermeture.

---

<sup>16</sup> La fonction principale des scellements de galerie est de s'opposer à la circulation d'eau, en vue de contribuer au confinement des déchets sur le long terme.

Le déroulement des opérations de fermeture partielle est présenté schématiquement ci-après. L'engagement de ces étapes de fermeture fera l'objet d'une procédure d'autorisation adaptée.

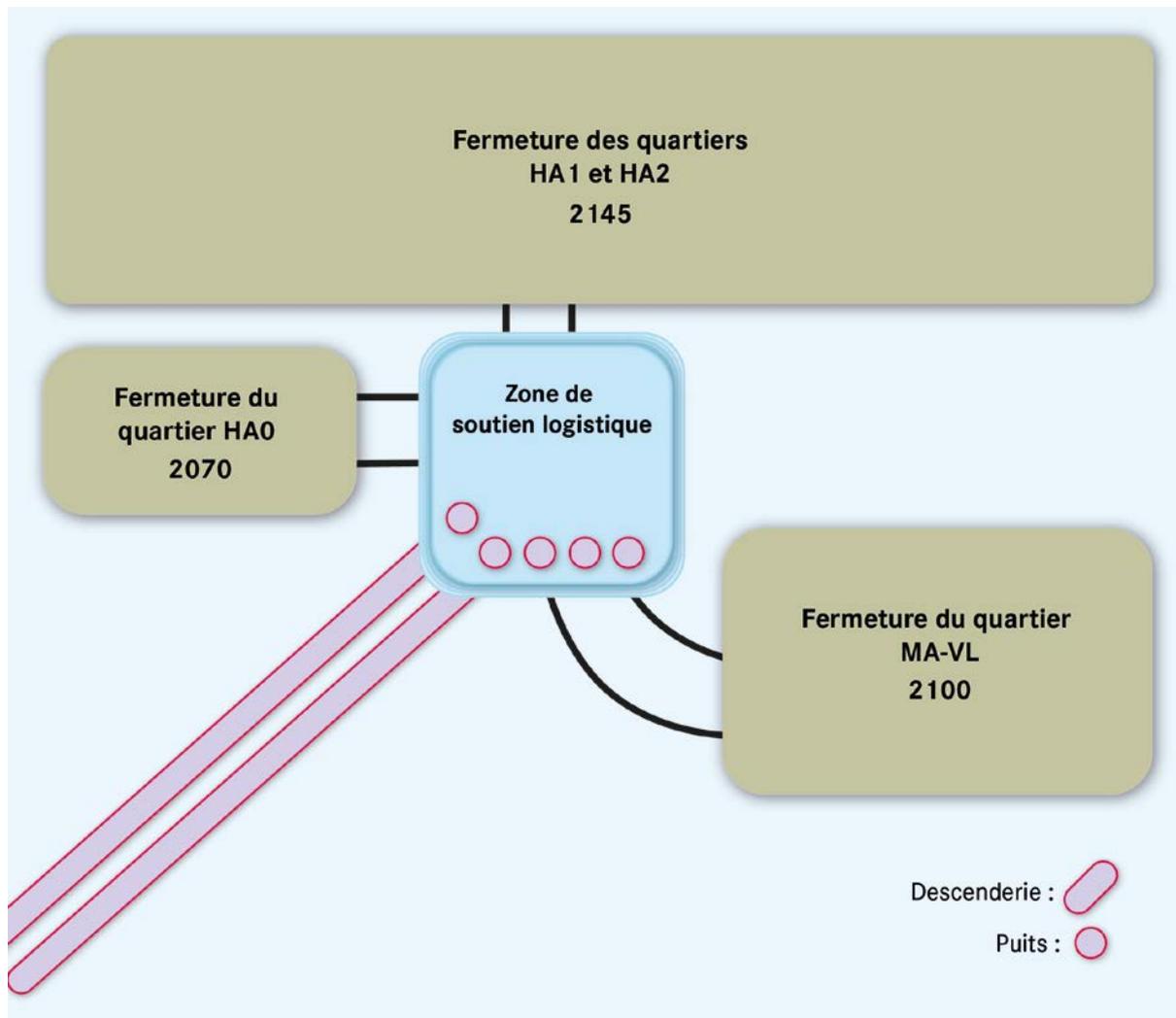


Figure 2-13 Représentation schématique des étapes de fermeture partielle des ouvrages souterrains (dates prévisionnelles à fin d'APS)

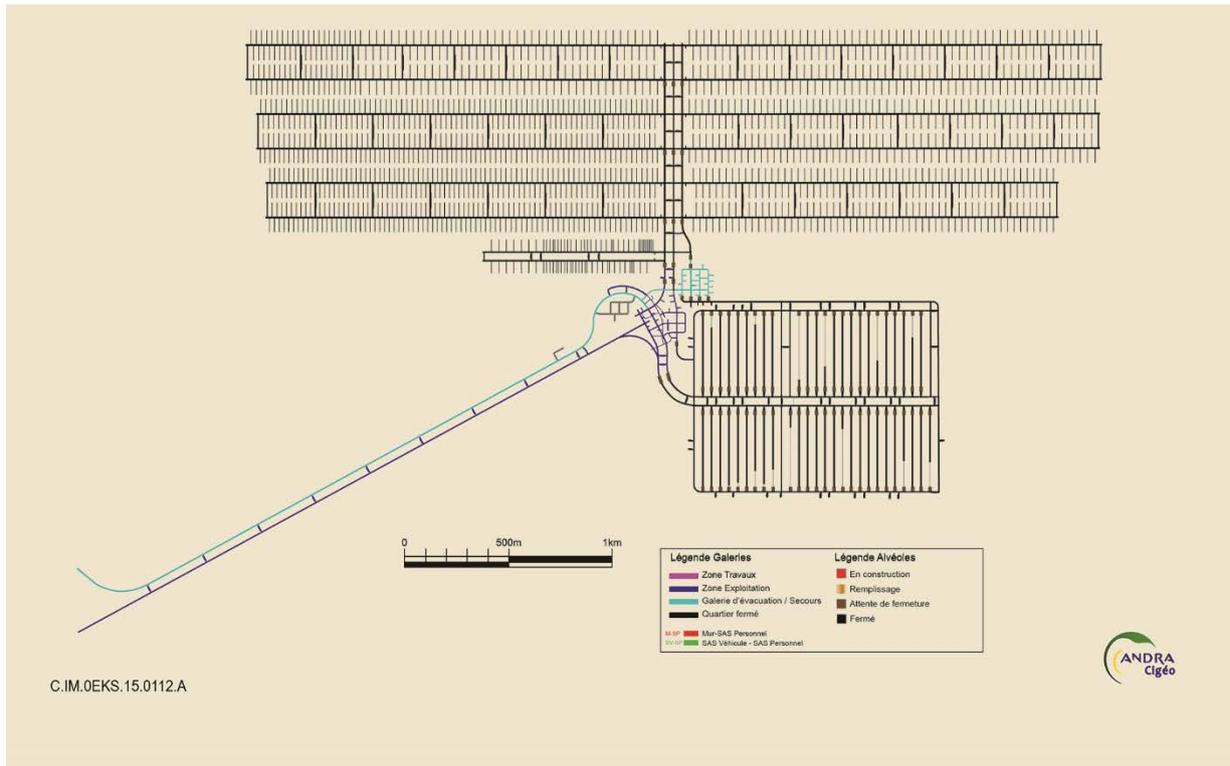


Figure 2-14 Représentation des ouvrages souterrains à l'issue des étapes de fermeture partielle (sur la base des études d'APS - voir détails en annexe 5)

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

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

En particulier, si, avec l'évolution des connaissances, un autre schéma de fermeture plus pertinent venait à être identifié, la conception de Cigéo offre la possibilité, pendant toute la durée de l'exploitation du stockage, d'avancer, de retarder ou de réorganiser ces étapes de fermeture partielle dans le cadre de la réversibilité (cf. § 4 et 4.3 du présent document).

## 2.7 La fermeture définitive

La fermeture définitive de Cigéo consiste au remblaiement des dernières galeries de la zone de soutien logistique, au scellement et au remblaiement des puits et descenderie. Les installations de surface sont démantelées.

La loi du 28 juin 2006 dispose que seule une loi peut autoriser la fermeture définitive de Cigéo. Dans le calendrier actuel, la fermeture définitive de Cigéo est prévue vers 2150.

Le démantèlement des installations de surface se poursuivra quelques années après la fermeture définitive de l'installation souterraine de Cigéo.

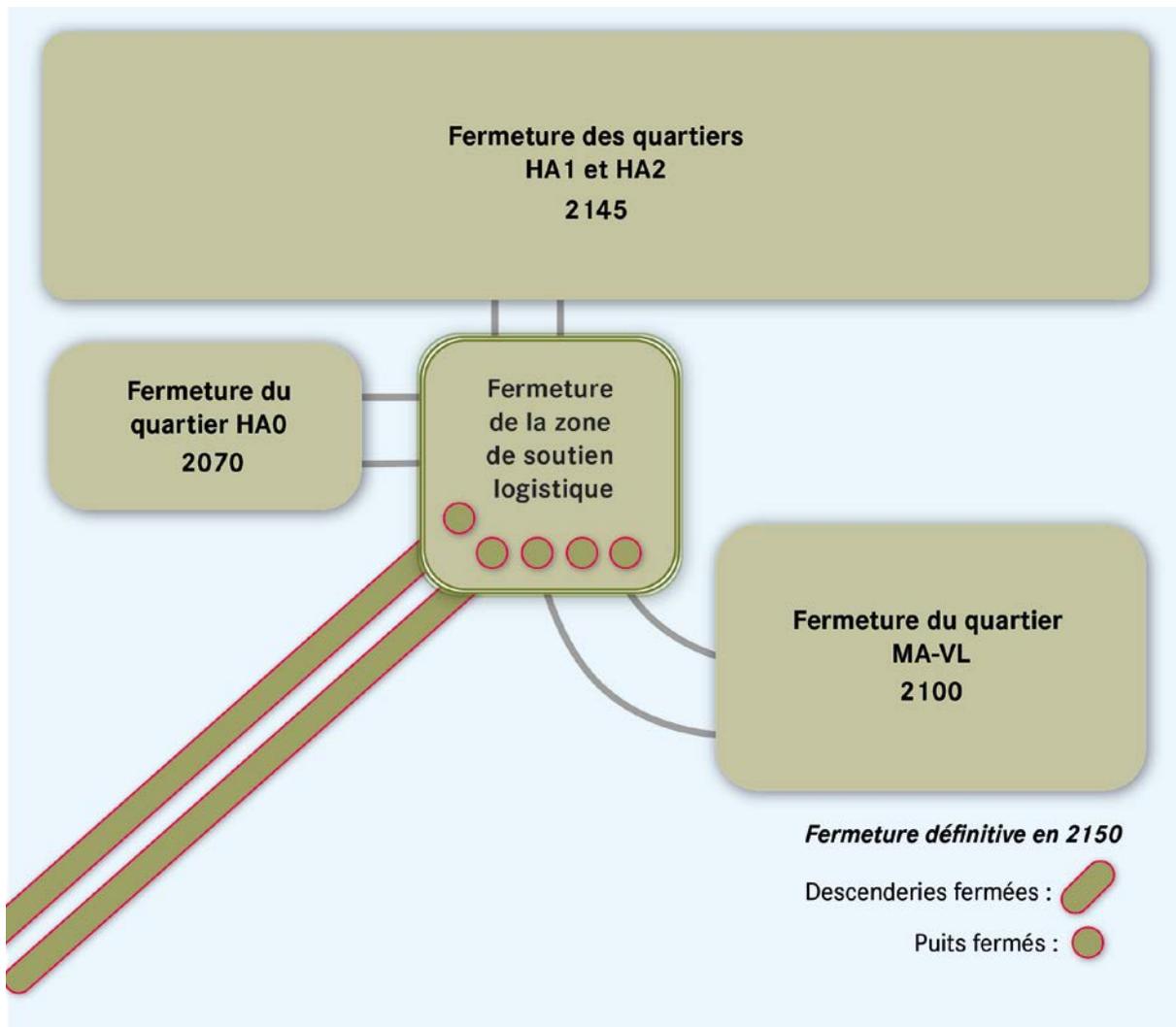


Figure 2-15 Représentation schématique des étapes de fermeture des ouvrages souterrains (dates prévisionnelles à fin d'APS)

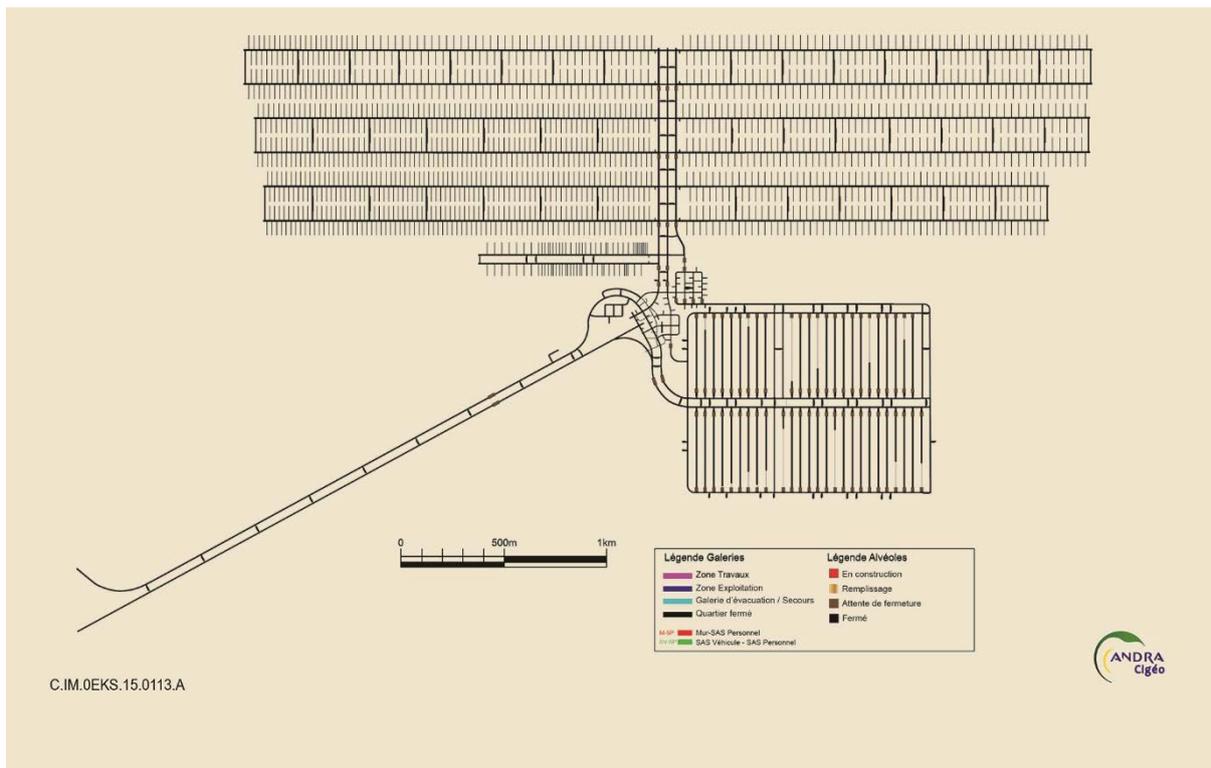


Figure 2-16

Représentation des ouvrages souterrains à l'issue de la fermeture définitive (sur la base des études d'APS - voir détail en annexe 5)

## 2.8 Synthèse du déroulement de référence

Le déroulement de référence du projet Cigéo est présenté de façon synthétique dans l'encadré et dans le tableau ci-après.

Sous réserve de l'obtention des autorisations nécessaires, l'Andra propose de retenir le calendrier prévisionnel suivant :

- **Depuis 2015 et jusqu'en 2020** - Premiers travaux au niveau local (diagnostics archéologiques préventifs, création de postes électriques, modification de certaines routes, préparation de l'embranchement ferroviaire du site, préparation de l'alimentation en eau et en gaz...);
- **En 2018** - Dépôt de la demande d'autorisation de création (DAC) ;
- **Vers 2020** - A l'issue de l'enquête publique de la DAC, les travaux de préparation de la construction du stockage sont engagés (terrassements généraux, essais des moyens de creusement...);
- **Vers 2021** - Obtention du décret d'autorisation de création de Cigéo et début de la construction du stockage (creusement des descenderies, des puits et des bâtiments de surface) ;
- **Vers 2025** - Démarrage de la phase industrielle pilote (lancement des premiers essais de l'installation) ;
- **Vers 2030** - Obtention de l'autorisation de mise en service. La phase industrielle pilote se poursuit par des essais en actif, puis par les opérations de stockage de premiers colis de déchets. L'exploitation monte en régime et la seconde tranche d'ouvrages souterrains est construite ;
- **Sur toute la durée d'exploitation de Cigéo**, les travaux d'extension des zones de stockage de Cigéo se succèdent par tranches successives, chacune d'une durée d'environ 10 ans ;
- **Vers 2035** - Passage en exploitation courante ;
- **Vers 2070** - Construction des installations de surface et des ouvrages de stockage pour les colis HA1 et HA2 ;
- Opérations de fermeture partielle de Cigéo prévues vers :
  - ✓ **2070** pour la zone de stockage HA0 ;
  - ✓ **2100** pour la zone de stockage MA-VL ;
  - ✓ **2145** pour la zone de stockage HA1/HA2 ;
- Opérations de fermeture définitive de Cigéo prévue à l'horizon **2150**.

Le développement de composants de Cigéo sera poursuivi après la demande d'autorisation de création (DAC) et jusqu'à la mise en service. Il comprend des étapes de validation *in situ*, au cours de la phase industrielle pilote (cf. § 3 du présent document). L'Andra précisera en 2018, dans le dossier de DAC, les étapes successives de développement des composants concernés et les bilans qui seront établis à ce titre.

Après la réalisation des ouvrages de la première tranche d'investissement (T1), des évolutions de conception peuvent, sous réserve de leur maturité technique et de leur autorisation, être intégrées au stockage au fur et à mesure de l'engagement des travaux de réalisation des tranches successives. Des jalons de sûreté et d'échanges, associés à ces évolutions, seront proposés dans la DAC.

Tableau 2-3 : Synthèse des étapes de construction (réalisation et équipement), d'exploitation et de fermeture des ouvrages de Cigéo (dates prévisionnelles à fin d'APS)

Tranches	Ouvrages construits	Construction	Remplissage	Fermeture	Démantèlement
Tranche 1	Installations de surface EP1	2021-2030	-	-	2100
	Descenderies et puits	2021-2030	-	2150	
	Zone de soutien logistique	2021-2030	-	2150	
	Quartier HA0 complet (galeries et 72 alvéoles)	2025-2030	2030-2039	2070	
	Quartier MA-VL (galeries et 4 premiers alvéoles)	2022-2030	2030-2055	2100	
Tranche 2	Première extension du quartier de stockage MA-VL (6 alvéoles)	2032-2039	2040-2060	2100	
Tranche 3	Seconde extension du quartier de stockage MA-VL (8 alvéoles)	2037-2045	2046-2079	2100	
Tranche 4	Troisième extension du quartier de stockage MA-VL (prolongation des galeries et 9 alvéoles)	2043-2052	2053-2072	2100	
Tranche 5	Quatrième extension du quartier de stockage MA-VL (8 alvéoles)	2058-2066	2067-2091	2100	
Tranche 6	Installations de surface EP2	2068-2077	-	-	2150
	Cinquième extension du quartier de stockage MA-VL (8 alvéoles)		2077-2094	2100	-
	Premier quartier HA (galeries et 276 alvéoles HA1)		2079-2099	2145	
	Ouvrages de fermeture du quartier HA0		-	-	
Tranche 7	Dernière extension du quartier de stockage MA-VL (7 alvéoles)	2080-2088	2089-2099	2100	
Tranche 8	Second quartier HA (galeries et 288 alvéoles HA1)	2087-2097	2099-2112	2145	
Tranche 9	Troisième quartier HA (galeries et 232 alvéoles HA1 et HA2)	2100-2110	2112-2121	2145	
	Ouvrages de fermeture du quartier MA-VL		-	-	
Tranche 10	Quatrième quartier HA (galeries et 212 alvéoles HA2)	2110-2119	2121-2130	2145	
Tranche 11	Cinquième quartier HA (galeries et 220 alvéoles HA2)	2119-2128	2130-2137	2145	
Tranche 12	Dernier quartier HA (galeries et 244 alvéoles HA2)	2127-2136	2138-2144	2145	
Tranche 13	Ouvrages de fermeture des quartiers HA	2145-2150	-	-	-
Tranche 14	Ouvrages de fermeture définitive (ZSL, puits et descenderie)	2150	-	-	-

# 3

---

## La phase industrielle pilote

---

<b>3.1</b>	<b>Contexte</b>	<b>46</b>
<b>3.2</b>	<b>Définition de la phase industrielle pilote</b>	<b>46</b>
<b>3.3</b>	<b>Objectifs de la phase industrielle pilote</b>	<b>48</b>
<b>3.4</b>	<b>Synthèse de la phase industrielle pilote</b>	<b>54</b>

### 3.1 Contexte

Le démarrage d'une installation industrielle complexe fait nécessairement l'objet d'une démarche progressive et prudente. Dans le cas de Cigéo, compte tenu du caractère unique de l'installation souterraine, les étapes de démarrage comportent un ensemble d'opérations de validation et de qualification *in situ* et à l'échelle « une », en lien avec la démarche systématique de développement de ses composants présentée ci-avant (cf. § 2.4 du présent document). Ces premières étapes s'inscrivent pleinement dans le cadre du développement incrémental du projet qui passe par la confirmation, dans l'environnement opérationnel réel, des hypothèses prises pour la conception. Par ailleurs, le démarrage est mis à profit pour acquérir des connaissances permettant de conforter les prévisions d'évolutions ultérieures du stockage et pour mettre en œuvre des démonstrateurs (scellements, alvéoles pour essais...) visant à apporter des informations vis-à-vis des choix ouverts dans le cadre de la réversibilité. De plus, le démarrage d'une INB fait l'objet de rapports d'essais et la réception de premiers colis de déchets est soumise à une autorisation spécifique de l'ASN (7). La période de démarrage de Cigéo mobilise ainsi les principaux outils de la réversibilité présentés plus en détail ci-après (cf. § 4 du présent document)<sup>17</sup>.

Dans ce contexte, dans sa délibération du 5 mai 2014 (4), le Conseil d'administration de l'Andra a indiqué qu'une phase industrielle pilote serait prévue au démarrage de Cigéo, avant son exploitation courante, afin de conforter en conditions réelles et en complément des essais réalisés dans le Laboratoire souterrain, les dispositions de conception retenues pour Cigéo. L'Andra propose que le bilan de cette phase industrielle pilote soit transmis à l'ASN et présenté au Parlement et aux parties intéressées.

Les objectifs de la phase industrielle pilote définis par le Conseil d'administration de l'Andra portent sur :

- la maîtrise des risques dans les conditions d'exploitation ;
- les performances des équipements industriels ;
- la capacité à retirer des colis de déchets de leur alvéole de stockage ;
- la capacité à surveiller les ouvrages de stockage ;
- la capacité à obturer et à sceller les alvéoles et galeries ;
- des essais pour tester des pistes d'optimisation technico-économique.

La programmation de la phase industrielle pilote marque l'engagement de l'Andra, d'une part de construire, de démarrer et d'exploiter Cigéo de façon prudente et progressive, d'autre part de rendre compte à l'ASN et aux parties intéressées, à un stade précoce du développement de l'installation, des confirmations de données de dimensionnement et de performances attendues ou des éventuelles difficultés rencontrées et des modifications ou optimisations envisageables au moyen d'un bilan spécifique des premières années d'exploitation.

Le plan directeur d'exploitation de Cigéo en vigueur au démarrage de Cigéo pourra faire l'objet d'une mise à jour à l'issue de la phase industrielle pilote au vu de l'expérience acquise.

### 3.2 Définition de la phase industrielle pilote

La phase industrielle pilote est une période temporelle du projet Cigéo et non un « objet » en tant que tel. Pendant cette période, l'objectif est de réaliser toutes les opérations d'essais, de mise en place de démonstrateurs (par exemple de scellement ou d'alvéoles), d'exploitation et de surveillance nécessaires au bon démarrage de Cigéo et à la montée en régime de l'exploitation.

L'Andra propose que la phase industrielle pilote commence pendant la phase de construction initiale (cf. § 2.5 du présent document), au moment où, une fois vérifié le « bon montage » des équipements

---

<sup>17</sup> Amélioration continue des connaissances en matière de gestion des déchets radioactifs ; transparence et la transmission des informations et des connaissances ; participation de la société ; contrôle par l'État et les évaluateurs sous la supervision du Parlement ; développement incrémental et la progressivité de la construction des installations de Cigéo ; flexibilité de l'exploitation ; adaptabilité des installations ; récupérabilité des colis de déchets

industriels (rails, ponts de manutention...), les premiers essais de démarrage en inactif sont engagés (essais élémentaires et fonctionnels des équipements, des fonctions et du procédé dans son ensemble [menés notamment sur des colis factices représentatifs des colis de déchets] et essais de sûreté<sup>18</sup>). Le début de ces essais est prévu vers 2025. Ces essais sont menés de façon concomitante à la finalisation de la construction et de la nucléarisation des ouvrages.

Ces essais de démarrage sont suivis par des essais actifs de mise en service, réalisés avec des colis de déchets radioactifs<sup>19</sup>, après autorisation de l'ASN de les recevoir dans Cigéo. Cette autorisation est prévue vers 2030. Différentes natures de colis de déchets seront utilisées pour les essais, puis stockées pendant la phase industrielle pilote (cf. § 3.3.1 ci-après).

Les principes et les objectifs du programme d'essais mené dans Cigéo au cours de la phase industrielle pilote sont décrits au sous-chapitre 3.3 ci-après. Ce programme d'essais sera mis à jour et finalisé progressivement au cours des études d'avant-projet définitif, puis pendant les études projet et les études d'exécution (cf. § 2.4 du présent document), par les entreprises auxquelles seront confiés les travaux de réalisation et d'équipement de Cigéo, sous réserve de son autorisation. Ces essais seront décrits en temps voulu (sur la base des études d'exécution) dans une structure documentaire spécifique (plan d'essais).

Une fois ces essais de mise en service réalisés et jugés concluants, l'exploitant entreprend la montée en régime progressive de l'exploitation. Cette période, qui débute vers 2030, se prolonge sur environ 6 ans (jusqu'à fin 2035) et permet de porter le flux de mise en stockage de quelques centaines à quelques milliers de colis primaires par an.

Pendant la phase industrielle pilote, les essais et opérations menés feront l'objet de rapports spécifiques de la part de l'Andra (fonctionnement, sûreté, réversibilité).

En pratique, l'ensemble des objectifs fixés par la délibération du Conseil d'administration de l'Andra précitée, aura été acquis à l'issue de la période de montée en régime. L'Andra propose donc que le bilan de la phase industrielle pilote soit finalisé à cette échéance. Ce bilan fera le point sur les éléments acquis concernant le fonctionnement de l'installation, sa sûreté et sa réversibilité. Le passage en exploitation courante s'effectuera selon un processus dont la validation associera l'ASN et les parties intéressées, dans un cadre réglementaire qui reste à définir. La formalisation de ce processus devra veiller à éviter que, pour des raisons de modalités de traitement administratif, l'exploitation de Cigéo vienne à s'interrompre, alors même que toutes les conditions pourraient être réunies pour un passage en exploitation courante.

---

<sup>18</sup> Essais en fonctionnement normal et simulant le fonctionnement dégradé, menés dans le but de vérifier que les performances des différents matériels des systèmes de sûreté sont conformes à leurs spécifications et que ces matériels fonctionnent ensemble de manière à garantir que les fonctions de sûreté sont accomplies de manière fiable. Ils sont menés en inactif, préalablement à la mise en service de l'installation.

<sup>19</sup> Les colis utilisés pour ces essais sont des colis de déchets à stocker dans Cigéo.

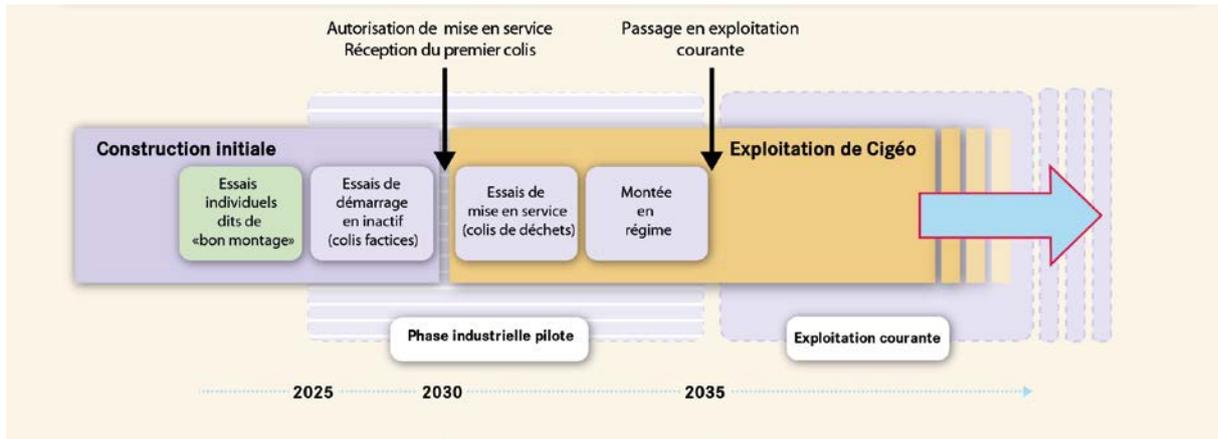


Figure 3-1 Schéma présentant l'articulation de la phase industrielle pilote et des phases de construction initiale et d'exploitation

À ce jour, la durée totale de la phase industrielle pilote est estimée à une dizaine d'années.

### 3.3 Objectifs de la phase industrielle pilote

#### 3.3.1 Maîtrise des risques dans les conditions d'exploitation

La sûreté de Cigéo consiste à protéger le personnel chargé de son exploitation, le public et l'environnement des risques liés à la présence des substances radioactives et chimiques dangereuses dans les déchets et à leur éventuelle dissémination. Cette protection s'appuie sur la mise en œuvre de « fonctions de sûreté », qui se déduisent des voies d'atteinte et des risques principaux induits par la présence des déchets radioactifs dans l'installation.

Les fonctions de sûreté de Cigéo seront déclinées dans le dossier accompagnant la demande d'autorisation de création (notamment dans le rapport préliminaire de sûreté et dans le document présentant les modalités envisagées pour son arrêt définitif et sa surveillance ultérieure) (7). Il s'agit notamment du confinement des substances radioactives, de la protection des personnes contre l'exposition aux rayonnements ionisants, de la maîtrise du risque de criticité, de l'évacuation de la puissance thermique des déchets et de l'évacuation des gaz formés par radiolyse et corrosion.

A ces fonctions de sûreté seront notamment associés, conformément à l'arrêté du 07 février 2012 fixant les règles générales relatives aux INB, des structures, des équipements et des systèmes, qualifiés d'éléments importants pour la protection (EIP). Ces EIP sont utilisés dans la démonstration de sûreté de l'installation qui sera présentée dans le rapport préliminaire de sûreté soumis en support à la demande de création de l'installation (7).

Au cours de la phase industrielle pilote, l'ensemble des procédures d'exploitation en lien avec la sûreté (gestion des alarmes, procédures de lutte contre l'incendie, repli en cas de défaillance...) seront testées et finalisées, en particulier celles impliquant les EIP en exploitation<sup>20</sup>. En outre, le démarrage de la construction de la « tranche 2 » prévue en 2032, à l'issue de deux années d'exploitation de la T1, permettra de conforter les procédures de gestion du risque de coactivité entre la zone en exploitation nucléaire et la zone de travaux pendant la phase industrielle pilote.

Enfin la nature des colis reçus pendant la phase industrielle pilote (cimentés, vitrifiés, bitumés, compactés) et leurs caractéristiques physico-chimiques (thermique, dégagement de gaz, présence de matière inflammable, débit de dose...) permet de couvrir l'ensemble des grandes caractéristiques prises en compte à la conception de Cigéo. Ainsi, le bilan de la phase industrielle pilote permettra de donner un panorama complet de la capacité de Cigéo à répondre aux différentes caractéristiques des colis et à prendre en charge l'ensemble de l'inventaire, même si les caractéristiques des premiers colis reçus ne couvrent pas quantitativement les caractéristiques maximales prises en compte pour le

<sup>20</sup> Des démonstrateurs inactifs sont construits en phase industrielle pilote dans le cadre du développement des ouvrages de fermeture participant à la sûreté à long terme du stockage (cf. § 3.3.5 du présent document).

dimensionnement, comme par exemple la puissance thermique à gérer lors du stockage des colis HA1 et HA2 au-delà de l'horizon 2075. La réception des colis pendant la phase industrielle pilote sera programmée en plusieurs étapes, permettant d'élargir progressivement la gamme des colis reçus et des solutions de mise en conteneur retenues sur Cigéo.

A l'issue de la période de montée en régime de l'exploitation d'environ 6 ans, le bilan de la phase industrielle pilote permettra d'évaluer le niveau de sûreté de Cigéo dans un ensemble de configurations représentatives de son exploitation et de préconiser d'éventuelles améliorations à lui apporter pour l'exploitation courante.

### 3.3.2 Performances des équipements industriels

Le programme d'essais qui sera mené pendant la phase industrielle pilote permettra de valider le bon fonctionnement de l'ensemble des équipements et fonctions de l'installation, y compris dans les situations incidentelles décrites dans le rapport préliminaire de sûreté. L'objectif principal de ce programme est de réduire autant que possible les risques de dysfonctionnement des équipements susceptibles d'altérer les capacités industrielles de l'INB ou d'entraîner des situations incidentelles, voire accidentelles (14). Les contrôles et vérifications périodiques seront poursuivis pendant toute la durée d'exploitation de l'INB.

Ce programme d'essais permettra de vérifier les performances individuelles et d'ensemble de tous les équipements présents dans Cigéo dans l'environnement industriel réel (réception des colis, préparation à la mise en stockage, contrôle, manutention des colis, surveillance, maintenance des équipements...).

Les essais sur les équipements se dérouleront en plusieurs phases : d'abord chez leurs fournisseurs, puis dans l'installation Cigéo elle-même ; de façon individuelle sur chaque équipement, puis de façon intégrée sur l'ensemble des équipements installés. Les essais réalisés dans Cigéo feront l'objet de rapports transmis à l'ASN et d'inspections spécifiques dans le cadre de l'autorisation de mise en service requise pour la réception du premier colis.

Ces essais couvrent tous les équipements et ouvrages réalisés dans le cadre de la première tranche d'investissement de Cigéo (T1, cf. § 2.5 du présent document). Au-delà de la T1, chaque nouvelle extension de Cigéo fera l'objet de ses propres essais de démarrage couvrant ses équipements, ses fonctions industrielles et le fonctionnement d'ensemble de Cigéo toutes tranches confondues.

Par ailleurs, au-delà de la période d'essais, la montée en régime progressive et prudente de Cigéo permettra d'adapter l'organisation et les procédures d'exploitation sur la base du retour d'expérience industriel. Elle permettra de montrer, sur la base des performances opérationnelles réelles de l'installation, que l'exploitation de Cigéo est adaptée aux flux de réception prévus.

De plus, l'Andra mettra en œuvre, dès la phase industrielle pilote, un démonstrateur d'alvéole MA-VL et *a minima* un démonstrateur d'alvéole HA, inactifs, qui participeront aux essais menés pour finaliser le développement des composants (passage aux niveaux TRL 7 et 8) et qui pourront être valorisés, tout le long de l'exploitation de Cigéo pour entraîner les équipes d'exploitation ou pour le développement de pistes d'optimisation de Cigéo (cf. respectivement les § 2.4, 3.3.3 et 3.3.6 du présent document).

### 3.3.3 Capacité à retirer les colis stockés

La conception de Cigéo préserve la capacité à retirer du stockage les colis de déchets stockés dans les alvéoles pendant toute la durée séculaire de son exploitation. Les colis et les alvéoles sont ainsi conçus pour que leurs propriétés favorables au retrait (résistance mécanique des colis, préservation des jeux fonctionnels...) soient préservées.

Pendant la phase industrielle pilote, un programme spécifique d'essais sera intégré aux essais de démarrage et aux essais de mise en service. Ce programme portera sur le retrait de leurs alvéoles de stockage respectifs, de colis HA et MA-VL factices, puis de colis de déchets réels. Les équipements utilisés spécifiquement pour le retrait (par exemple le robot de retrait des colis de stockage HA0) feront l'objet d'essais comme les équipements utilisés pour la mise en place des colis. Les équipements utilisés pour la manutention (chariot, funiculaire, hotte) seront inclus dans ce programme. Leurs performances seront vérifiées de façon équivalente dans les deux sens : mise en

place et retrait. Les performances des équipements permettant la réception des colis primaires et leur éventuelle réexpédition seront également vérifiées dans les deux sens, sans réexpédition de colis (opérations de mise en emballage de transport).

Au cours de la phase industrielle pilote, tous les équipements de retrait seront immédiatement opérationnels. Cigéo sera dans son niveau maximal de récupérabilité. De plus, aucun ouvrage ayant pour objectif de fermer réellement un alvéole de stockage contenant des colis de déchets ou une galerie d'un quartier de stockage ne sera réalisé. En revanche, des démonstrateurs d'ouvrage de fermeture inactifs seront construits (cf. § 3.3.5 du présent document).

Les démonstrateurs inactifs d'alvéoles MA-VL et HA seront utilisés, tous le long de l'exploitation de Cigéo, pour entraîner les équipes d'exploitation aux opérations de retrait, maintenir les compétences ou pour tester éventuellement de nouvelles techniques de retrait.

### 3.3.4 La capacité à surveiller les ouvrages de stockage

La « surveillance » d'une installation nucléaire de base (INB) consiste en la mesure systématique continue ou périodique d'un certain nombre de grandeurs permettant de contrôler le fonctionnement de l'installation. La surveillance commence dès la construction d'une INB et dure *a minima* pendant toute son exploitation. Dans une installation de stockage, la surveillance se poursuit après la fermeture définitive, sur une période donnée.

De façon générale, la surveillance d'une INB vise principalement à :

- vérifier que l'installation reste dans le domaine de fonctionnement tel que défini dans le rapport de sûreté et décliné dans les règles générales d'exploitation (RGE) ;
- identifier les dérives éventuelles de fonctionnement de l'installation, susceptibles d'amener l'installation hors de ce domaine en l'absence de mesures correctives, avant que l'installation ne sorte de son domaine de fonctionnement normal.

Pour Cigéo, la surveillance concerne en particulier l'installation souterraine et son environnement géologique en lien avec l'objectif de sûreté après fermeture du stockage. Elle aura pour objectif spécifique de s'assurer que l'état et le comportement des différents composants importants du système de stockage, définis pour garantir la sûreté après fermeture, sont dans un domaine conforme à l'accomplissement de leurs fonctions après fermeture. Elle aura également pour objectif de vérifier la capacité de retrait des colis stockés.

La surveillance a un caractère réglementaire. Elle vise la protection des intérêts mentionnés à l'article L.593-1 du Code de l'environnement (sécurité, santé et salubrité publiques, protection de la nature et de l'environnement). Dans le cas de Cigéo, la surveillance a également pour objectif de vérifier la capacité de retrait des colis stockés. La mise en œuvre du programme de surveillance et la transmission de ses résultats constituent un engagement de l'exploitant auprès de l'ASN.

Le programme de surveillance de Cigéo sera commencé dès sa création en 2021 et se poursuivra, avec les adaptations nécessaires, pendant son exploitation et après sa fermeture. Un premier programme de surveillance de Cigéo sera présenté dans la demande d'autorisation de création (DAC) en 2018. Il sera approfondi notamment sur ses aspects relatifs à la surveillance radiologique opérationnelle de l'environnement pour l'autorisation de mise en service de Cigéo prévue vers 2030.

Pendant la phase industrielle pilote, la surveillance portera notamment sur les paramètres de fonctionnement de l'installation (température, ambiance radiologique, position des colis...), en particulier après que de vrais colis de déchets y auront été stockés. A ce titre, les performances des équipements, moyens et capteurs choisis pour la surveillance de l'installation seront vérifiées systématiquement pour la mise en service, puis périodiquement au cours de l'exploitation (report des alarmes, performances des systèmes de mesures, gestion globale des informations remontées en salle de conduite, bon fonctionnement et efficacité des vues de l'installation données aux opérateurs...).

Le programme de surveillance portera également sur des paramètres liés au dimensionnement et au comportement des ouvrages pour une exploitation séculaire. A titre d'exemple, un programme de

surveillance spécifique sera conduit afin de vérifier la préservation du jeu fonctionnel permettant le retrait des colis. Il sera poursuivi après la phase industrielle pilote.

Par ailleurs, la vérification des caractéristiques importantes de la roche hôte, prises pour données d'entrée dans l'évaluation de sûreté après fermeture (comportement mécanique ; extension, structure et perméabilité de la zone endommagée autour des ouvrages...), sera intégrée au programme de surveillance mené au cours de la phase industrielle pilote et poursuivi au-delà.

Cette vérification sera étendue de manière spécifique aux composants ouvrages importants pour la sûreté après fermeture. Dans ce cadre général, certaines parties de l'installation souterraine (des alvéoles HA et MAVL, des tronçons de descenderie et de puits, des tronçons de galerie ou des intersections), choisies pour leur caractère représentatif d'un ensemble d'ouvrages ou pour leur positionnement particulier au regard des objectifs de sûreté en exploitation et après-fermeture (par exemple à l'emplacement d'un futur scellement) feront l'objet de mesures de surveillance spécifiques. Ces ouvrages sont dénommés « témoins ». Les informations spécifiques recueillies dans ces « témoins » seront intégrées et valorisées dans le programme de surveillance de Cigéo. Leurs rôles et les fonctions des mesures spécifiques qu'ils abritent seront définis dans le dossier de DAC.

Un rapport sur l'ensemble des aspects de la surveillance de Cigéo (environnement, fonctionnement de l'installation, paramètres pris pour le dimensionnement et la sûreté après fermeture, ouvrages témoins...) permettant d'évaluer sa pertinence, la qualité de sa réalisation par l'exploitant et les éventuelles modifications à lui apporter (approfondissement ou réorientation éventuels, périodicité des mesures...) sera joint au bilan de la phase industrielle pilote.

En outre, dans le cadre du développement incrémental du projet, l'Andra mènera un programme d'observation<sup>21</sup> dans Cigéo qui débutera dès la phase industrielle pilote (cf. § 4.2 du présent document).

### **3.3.5 La capacité à obturer et à sceller les alvéoles, galeries et descenderies**

Conformément au schéma de fermeture de référence (cf. § 2.6.2 et § 2.7 du présent document), la construction des premiers ouvrages industriels de fermeture de Cigéo interviendra vers 2070 (quartier HA0), puis vers 2100 (quartier MA-VL). L'engagement de ces opérations fera l'objet de procédures d'autorisation spécifiques.

Même si la mise en œuvre des opérations industrielles de fermeture apparaît lointaine, l'Andra a prévu de vérifier la capacité à réaliser les ouvrages de fermeture en environnement opérationnel dès la phase industrielle pilote. Cette vérification s'effectue dans Cigéo par la réalisation de démonstrateurs inactifs, représentatifs des ouvrages envisagés pour les opérations industrielles.

Compte tenu des différents types d'ouvrages de fermeture prévus dans Cigéo, il est prévu de réaliser dans le cadre de la phase industrielle pilote les démonstrateurs inactifs suivants :

- un démonstrateur de scellement de descenderie ;
- un démonstrateur de scellement de galerie ;
- un démonstrateur de « coupure hydraulique » (représentatif du fonctionnement d'un concept de scellement de galerie étudié en variante) ;
- un démonstrateur d'alvéole HA obturé.

A ce stade, il est prévu de réaliser ces ouvrages dans une zone dédiée située au bas des descenderies. La localisation de cette zone pourrait toutefois évoluer au cours des études de conception afin de limiter les contraintes liées aux flux opérationnels et pour bénéficier d'une plus grande emprise pour son développement potentiel (hors démonstrateur de scellement de descenderie qui resterait situé au toit de la formation hôte).

---

<sup>21</sup> L'observation est définie comme les investigations d'un fait, d'un processus, en vue de mieux le connaître, le comprendre, notamment en identifiant son origine. Elle n'a pas de caractère réglementaire. Elle est poursuivie dans le cadre de l'amélioration continue des connaissances, en vue notamment d'optimiser Cigéo.

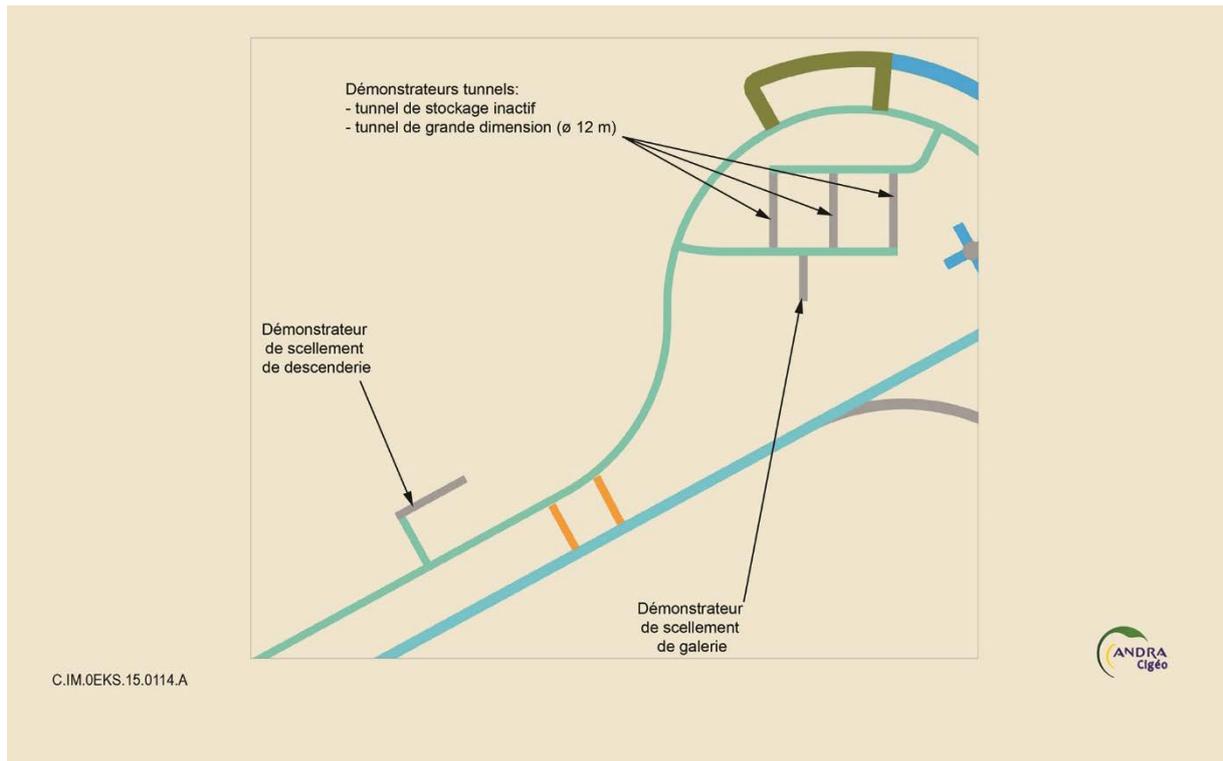


Figure 3-2 Schéma de la zone d'implantation des démonstrateurs (sur la base des études d'APS - démonstrateurs d'alvéole HA et de coupure hydraulique non représentés - l'emplacement de la zone au sein de l'installation souterraine est susceptible d'évoluer au cours des études de conception)

Le bilan de la construction et du suivi de ces ouvrages sera intégré au bilan de la phase industrielle pilote. Leur suivi sera poursuivi sur toute la durée d'exploitation du stockage afin de disposer d'un retour d'expérience important quant à leur comportement et à leur performance au moment de l'engagement des opérations industrielle de fermeture.

### 3.3.6 Pistes d'optimisation

Sur la base des études menées jusqu'en 2015, l'Andra a identifié des pistes d'optimisation technico-économique possibles de la conception de Cigéo ; cette identification prend systématiquement en compte l'impact potentiel de ces optimisations sur la sûreté. En lien avec le développement incrémental du projet (cf. 4.2 du présent document), l'Andra poursuivra le processus d'identification et d'études de nouvelles optimisations sur toute la durée de la conception et de l'exploitation de Cigéo, dans l'objectif d'en faire bénéficier la plus large part des ouvrages à construire.

L'étude des optimisations identifiées à ce jour sera approfondie par l'Andra en APD. L'objectif est d'introduire ces optimisations dans la conception de référence de Cigéo qui fera l'objet de la demande d'autorisation de création (DAC). L'évolution progressive de la conception de référence appartient au cadre normal du développement d'un avant-projet.

Toutefois, il est possible que, en fonction de l'avancement des études, certaines pistes d'optimisation n'aient pas encore atteint un niveau de maturité technologique suffisant pour être introduites, dès 2018, dans la conception de référence. Pour qu'elles puissent être intégrées de façon opérationnelle dans la construction, leur développement devra avoir été finalisé (cf. § 2.4 du présent document) et leur prise en compte devra avoir été spécifiquement autorisée.

Les optimisations dont l'étude n'aurait pas encore abouti à l'issue des études d'APD seront présentées dans la DAC, associées à des propositions de rendez-vous d'autorisation, à des bilans de présentation des éléments de démonstration attendus, ainsi qu'à des échéances prévisionnelles de mise en œuvre<sup>22</sup>.

Des exemples, choisis parmi les principales pistes d'optimisation identifiées à ce stade, sont présentées dans le tableau ci-après.

Opportunité d'optimisation	Intérêt
Soutènement des galeries et des alvéoles : utilisation de voussoirs compressibles	Diminution des sections excavées
Méthodes de creusement des alvéoles MA-VL	Utilisation d'un tunnelier
Alvéoles MA-VL de plus grande section	Augmenter la capacité de stockage des alvéoles MA-VL pour en diminuer le nombre et la longueur des galeries les desservant
Ouvrages de fermeture dans le quartier MA-VL	Diminuer le nombre de scellements et simplifier leur réalisation
Stockage direct de colis MA-VL <sup>23</sup>	Diminuer le nombre d'alvéoles MA-VL et la longueur des galeries les desservant
Alvéoles HA de plus grande longueur	Diminuer le nombre d'alvéoles HA et la longueur des galeries les desservant
Optimisation des quartiers HA1/HA2 en fonction des critères thermo-hydro-mécaniques (THM)	Diminuer la taille du quartier HA (nombre d'alvéoles et longueur des galeries)
Colis MA-VL en intercalaires HA	Diminuer le nombre d'alvéoles MA-VL et la longueur des galeries les desservant

Certaines pistes d'optimisation feront l'objet d'études spécifiques pendant la phase industrielle pilote. A cet égard, l'Andra a d'ores et déjà prévu d'étudier l'élargissement du diamètre des alvéoles MA-VL en construisant un démonstrateur de tunnel de stockage inactif de grande dimension (cf. Figure 3-2). Ce démonstrateur fera l'objet de mesures et d'essais et, si les résultats sont satisfaisants et sous réserve d'autorisation, des alvéoles de stockage de cette dimension seront construites dans les tranches ultérieures pour certaines familles de colis. La mise en œuvre d'autres pistes d'optimisation relatives notamment à l'allongement des alvéoles HA1/HA2 (dont le début de la construction est actuellement prévu vers 2068) et au stockage direct de colis MA-VL (essais de manutention et de mise en place) pourra également être étudiée dès la phase industrielle pilote dans des démonstrateurs inactifs adaptés.

Le processus global de développement et d'intégration des pistes d'optimisation de Cigéo sera décrit de façon plus détaillée dans le cadre de la DAC.

<sup>22</sup> A l'échéance de la DAC, l'ensemble constitué par (i) la solution robuste et démontrée pour la T1 comme pour les tranches à terminaison, (ii) les évolutions de conception envisagées pour les différentes tranches postérieures à la T1 et (iii) la méthode et le calendrier envisagé pour leur démonstration et leur intégration progressive dans la réalisation, constituera la référence du projet.

<sup>23</sup> Stockage du colis MAVL livré par le producteur, sans introduction préalable dans un conteneur de stockage.

### 3.4 Synthèse de la phase industrielle pilote

La description de la phase industrielle pilote est présentée de façon synthétique dans l'encadré ci-après.

Sous réserve de l'obtention des autorisations nécessaires, l'Andra fait les propositions suivantes :

- la phase industrielle pilote constitue une période temporelle du projet qui débute lors des essais de démarrage de l'installation et prend fin au passage en exploitation courante. Elle fait l'objet d'un bilan transmis à l'ASN et présenté au Parlement et à l'ensemble des parties intéressées. Le passage en exploitation courante sera validé par un processus réglementaire associant l'ASN et les parties intéressées, dont la nature réglementaire reste à définir ;
- le plan directeur d'exploitation de Cigéo en vigueur au démarrage de Cigéo pourra faire l'objet d'une mise à jour à l'issue de la phase industrielle pilote au vu de l'expérience acquise ;
- la phase industrielle pilote comporte une phase d'essais de démarrage inactifs (sur des colis factices), des essais de mise en service réalisés avec des colis de déchets et une montée en régime progressive de l'exploitation ;
- la durée totale de la phase industrielle pilote est estimée à environ dix ans, dont environ 4 ans d'essais inactifs, puis, après la réception des premiers colis de déchets, environ 6 ans de montée en régime progressive de l'exploitation ;
- la phase industrielle pilote vise à conforter, en conditions réelles et en complément des essais réalisés dans le Laboratoire souterrain :
  - ✓ la maîtrise des risques dans les conditions d'exploitation ;
  - ✓ les performances des équipements industriels ;
  - ✓ la capacité à retirer des colis de déchets de leur alvéole de stockage ;
  - ✓ la capacité à surveiller les ouvrages de stockage ;
  - ✓ la capacité à obturer et à sceller les alvéoles, les galeries et les descenderies ;
  - ✓ les pistes d'optimisation technico-économique ;
- les démonstrateurs inactifs suivants seront mis en œuvre pendant la phase industrielle pilote :
  - ✓ 1 alvéole HA ;
  - ✓ 1 alvéole MA-VL ;
  - ✓ 1 alvéole MA-VL de grande dimension ;
  - ✓ 1 scellement de descenderie ;
  - ✓ 1 scellement de galerie ;
  - ✓ 1 coupure hydraulique d'une galerie ;
  - ✓ 1 alvéole HA fermé.

# 4

---

## Les choix offerts par la réversibilité pour la conduite du projet

---

<b>4.1</b>	<b><i>La réversibilité</i></b>	<b>56</b>
<b>4.2</b>	<b><i>Le développement incrémental du projet</i></b>	<b>58</b>
<b>4.3</b>	<b><i>La flexibilité de l'exploitation</i></b>	<b>59</b>
<b>4.4</b>	<b><i>L'adaptabilité des installations de Cigéo</i></b>	<b>60</b>
<b>4.5</b>	<b><i>La récupérabilité des colis stockés</i></b>	<b>62</b>
<b>4.6</b>	<b><i>Synthèse de la réversibilité</i></b>	<b>64</b>

## 4.1 La réversibilité

La dangerosité des déchets HA et MA-VL et leur durée de vie très longue donnent aux générations qui bénéficient des avantages liés à l'industrie nucléaire une responsabilité éthique : trouver et mettre en œuvre des solutions de gestion à court, moyen et long terme qui permettent d'assurer, aujourd'hui et demain, la protection des hommes et de l'environnement du danger que présentent ces déchets.

Aujourd'hui, les déchets HA et MA-VL déjà produits sont placés, en toute sûreté, dans des installations d'entreposage. C'est un mode de gestion temporaire. Il est donc nécessaire de trouver, d'étudier et de mettre en œuvre une solution de gestion durable. A cet égard, dans son avis du 1er février 2006, l'ASN a considéré que, pour la gestion des déchets HA et MA-VL, « *le stockage en formation géologique profonde est une solution de gestion définitive qui apparaît incontournable* ».

L'objectif des recherches de l'Andra, fixé par la loi du 28 juin 2006 (6), est donc de concevoir une installation qui permet d'assurer sur le très long terme le confinement de la radioactivité des déchets et de limiter la charge portée par les générations futures. En effet, une fois fermée, elle ne nécessite plus d'action humaine pour garantir sa sûreté, contrairement à un entreposage.

Notre génération a également le devoir de ne pas enfermer les générations futures dans des choix faits au lancement du projet. C'est dans ce sens que l'Andra développe, conformément à la demande du Parlement, un projet de stockage réversible.

Cette préoccupation éthique de réversibilité trouve son origine dans l'échelle de temps qu'implique la gestion des déchets radioactifs les plus nocifs. Compte tenu, en particulier de la durée d'ordre séculaire prévue pour l'exploitation de Cigéo (cf. § 2.5, 2.6 et 2.7 du présent document), il convient de concevoir et de léguer aux générations suivantes une installation sûre qu'elles seront en mesure (si elles ne souhaitent pas poursuivre comme prévu) de modifier ou d'améliorer en fonction de leurs propres objectifs et contraintes, voire de la remplacer par d'autres installations de gestion, si d'autres choix venaient à apparaître, notamment en lien avec les progrès techniques. Suite au débat public relatif à Cigéo, le Conseil d'administration de l'Andra avait proposé la définition suivante de la réversibilité (4) : « [la réversibilité est la] *capacité à offrir à la génération suivante des choix sur la gestion à long terme des déchets radioactifs, incluant notamment le scellement d'ouvrages de stockage ou la récupération de colis de déchets ; cette capacité est notamment assurée par un développement progressif et flexible du stockage* ».

Parmi les choix offerts, est incluse la possibilité de reconsidérer les décisions prises par la génération antérieure. La réversibilité vise donc à favoriser l'éventail des choix qui s'ouvriront aux générations futures.

Dans la pratique, la mise en œuvre du principe de réversibilité s'appuie sur des outils de gouvernance et sur des outils techniques de conduite du projet.

Ces outils, leurs définitions, les rôles possibles qu'ils pourraient jouer dans les futures décisions et des exemples de leur impact potentiel sur le projet Cigéo sont présentés dans le tableau joint en annexe 6. Ils ont été définis pour contribuer concrètement aux prises de décisions concernant la gestion des déchets radioactifs. Ils permettent notamment de conserver ou d'ouvrir au cours du temps les différents choix possibles. Leur articulation est présentée de façon synthétique sur le schéma suivant.

Le processus continu de mise en œuvre des outils de la réversibilité contribue à construire et à préserver la confiance collective dans les choix retenus par la société pour la gestion des déchets.

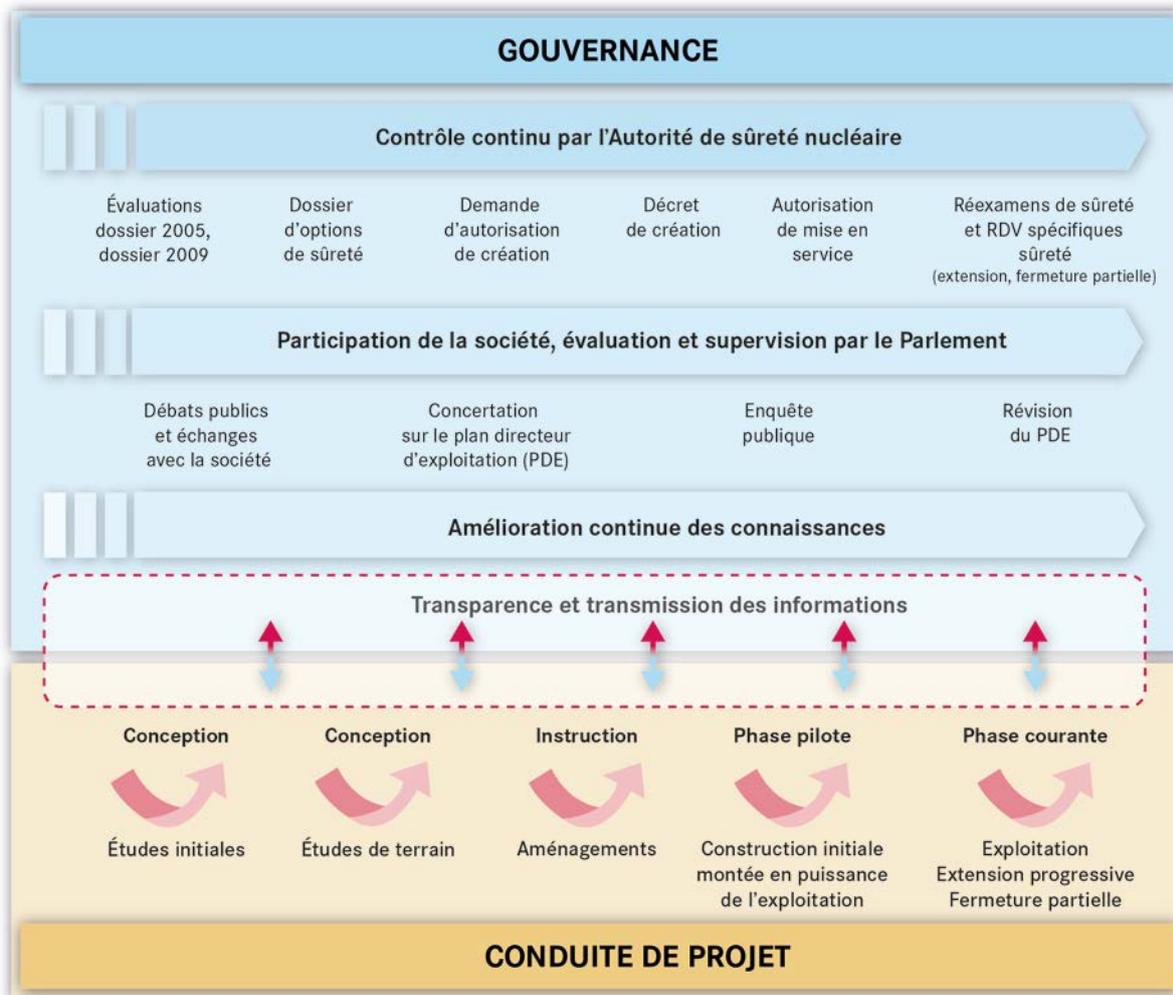


Figure 4-1 Schéma présentant l'articulation des outils de réversibilité relatifs à la gouvernance et à la conduite du projet

Les outils de gouvernance sont les suivants :

- l'amélioration continue des connaissances en matière de gestion des déchets radioactifs ;
- la transparence et la transmission des informations et des connaissances ;
- la participation de la société, l'évaluation et la supervision par le Parlement ;
- le contrôle par l'Autorité de sûreté nucléaire.

Par ses missions, l'Andra participera à la gouvernance, principalement en menant des programmes de recherches et en mettant des données à la disposition des parties intéressées. Le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) de Cigéo ou le bilan de la phase industrielle pilote sont des exemples de données qui participent à la gouvernance du projet. L'Andra pourra également accompagner et préparer la participation de la société, ainsi que l'évaluation et la supervision par le Parlement. Elle sera disponible pour les contrôles de l'ASN conformément à la réglementation.

En termes de gouvernance, après la production et l'instruction des documents faisant suite au débat public Cigéo, y compris la présente proposition de PDE, les principales échéances décisionnelles et techniques et les principaux jalons de sûreté du projet sont :

- la concertation sur la proposition de PDE ;
- le dépôt de la demande d'autorisation de création et de la demande de déclaration d'utilité publique de Cigéo ;
- la loi fixant les conditions de réversibilité ;
- l'enquête publique Cigéo ;

- le décret d'autorisation de création ;
- l'engagement de la phase industrielle pilote ;
- la mise en service de Cigéo ;
- le passage en exploitation courante ;
- le premier réexamen de sûreté ;
- l'engagement des travaux d'extension de l'installation ;
- les réexamens de sûreté successifs ;
- l'intégration des optimisations dans les tranches ultérieures ;
- l'engagement des premiers travaux de fermeture ;
- la fermeture définitive de Cigéo.

Une première liste de ces grandes étapes est donnée en Annexe 7. Cette liste sera précisée dans la DAC, en lien avec les grandes étapes de développement des composants de Cigéo (cf. § 2.4 du présent document).

Les outils de conduite du projet sont :

- le développement incrémental et la progressivité de la construction des installations de Cigéo ;
- la flexibilité de l'exploitation ;
- l'adaptabilité des installations ;
- la récupérabilité des colis de déchets.

Les outils de conduite du projet sont techniques. Ils traduisent, sur le plan matériel, les opérations d'exploitation ou de construction qui seraient menées dans Cigéo suite aux décisions prises dans le cadre de la gouvernance. L'utilisation pratique de ces outils modifierait le déroulement de référence du projet proposé par l'Andra (cf. 2 du présent document). Les possibilités qu'ils offrent et leur impact éventuel sur le déroulement de référence de Cigéo sont décrits dans les sous-chapitres 4.2 à 4.5 ci-après.

Le financement des études pour la conception de Cigéo, de sa construction et de sa fermeture est assuré dès aujourd'hui par les générations actuelles pour ne pas le reporter sur les générations futures. Cela est fait par des provisions, régulièrement actualisées, par EDF, le CEA et AREVA, les trois producteurs de déchets concernés. Le coût des dispositions techniques prises pour favoriser la réversibilité est intégré au projet. Les générations actuelles favorisent ainsi des possibilités et des facilités d'actions sur le processus de stockage. Toutefois, si les générations futures décidaient d'exercer ces options, par exemple pour modifier le stockage pour la réception de nouveaux déchets ou pour en retirer des colis, elles auraient bien sûr à supporter la charge de leurs décisions.

## 4.2 Le développement incrémental du projet

Le développement incrémental du projet Cigéo correspond au caractère continu, régulier et prudent de l'enchaînement des opérations de construction de l'installation de stockage sur toute la durée de son exploitation. Il est marqué par les douze tranches successives de construction prévues dans le déroulement de référence à des échéances de l'ordre de la dizaine d'années (cf. § 2.6.1 du présent document). Ce déroulement de référence jusqu'à terminaison, associé aux choix de conception retenus par l'Andra, constituera la feuille de route initiale du développement du projet. Il pourra être revu lors des différentes étapes de mise à jour de la proposition de PDE (cf. § 1.2 du présent document).

Le principe d'un développement incrémental de Cigéo offre la possibilité aux générations futures d'accélérer (construction de tranches plus vastes) ou au contraire de temporiser (construction de tranches plus petites ou selon une périodicité plus longue) le développement de Cigéo, par exemple pour tenir compte d'évolutions dans le programme de livraison des colis.

De plus, 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. Dès lors que, par rapport à une technologie envisagée précédemment, une meilleure solution technique aura été développée et aura atteint un degré de maturité technologique suffisant (cf. § 2.4 du présent document) pour pouvoir être intégrée à une prochaine tranche de construction de Cigéo, l'exploitant, sous réserve de son autorisation, l'implantera

dans Cigéo. A ce titre, la construction et l'exploitation du quartier HA0, une quarantaine d'années avant le début de la mise en œuvre des quartiers HA1/HA2 (cf. § 2.6.1 du présent document), permettront de disposer d'un retour d'expérience précieux pour la définition d'optimisations de ces quartiers.

A cet égard, il faut signaler que les études et recherches en matière de développement du stockage se poursuivront au-delà de la phase industrielle pilote 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 (14), des dispositions prises pour la sûreté. Le développement incrémental favorise autant la maîtrise des coûts du stockage que le maintien du plus haut niveau de sûreté. Sur ce dernier point, les évolutions de conception pourraient en particulier provenir des demandes formulées par l'ASN à l'occasion des réexamens périodiques de sûreté.

De plus, l'Andra mènera dans Cigéo un programme d'observation. L'observation consiste en des investigations d'un fait, d'un processus, en vue de mieux le connaître, le comprendre, notamment en identifiant son origine. L'observation amène des éléments de connaissance additionnels à ceux issus des études de conception et de R&D menées en amont ou en parallèle de la réalisation du stockage et de son exploitation, en particulier dans le Laboratoire souterrain. Elle vise notamment à mieux apprécier les marges prises dans les dimensionnements des équipements et des ouvrages en vue de l'optimisation de la conception des futures tranches. Les finalités du programme d'observation qui sera mené par l'Andra dans Cigéo et ses modalités de mise en œuvre feront l'objet d'une première description dans le cadre de la demande d'autorisation de Cigéo. Ce programme d'observation sera susceptible d'être adapté au cours de l'exploitation du centre.

Aux principales pistes d'optimisation déjà évoquées ci-avant (cf. § 3.3.6 du présent document : alvéoles HA de plus grande longueur, alvéoles MA-VL de plus grande section, stockage direct de colis MA-VL), s'ajouteront notamment les progrès en matière de sciences des matériaux et de géosciences (concernant par exemple le comportement thermique et mécanique de la couche d'argile) qui pourraient amener des optimisations notables de la conception de Cigéo ; l'Andra poursuivra des efforts de recherche, notamment sur ces deux points. Les modes de conditionnement prévus pour les colis pourraient également évoluer. L'intégration dans Cigéo de ces évolutions aurait pour principale conséquence la réduction du nombre d'ouvrages souterrains à construire. L'architecture souterraine globale (répartition en quartier, principe de déploiement), telle que présentée en annexe 3, est conçue pour rendre possibles de futures évolutions ; elle n'en serait pas notablement modifiée.

### **4.3 La flexibilité de l'exploitation**

La flexibilité de l'exploitation est définie comme la capacité de Cigéo à s'adapter à des variations du programme industriel de livraison des colis (chronique de réception, flux de réception, date de fermeture partielle) sans modification des infrastructures ou des équipements existants et sans construction d'ouvrages nouveaux.

Elle offre la possibilité aux générations futures de décaler ou d'accélérer (dans certaines limites liées aux performances des équipements, à leur taux d'utilisation et à la disponibilité des opérateurs) les flux de colis reçus sur Cigéo. Cette situation pourrait par exemple être rencontrée si un producteur de déchets souhaitait désentreposer et expédier vers Cigéo un type de colis de déchets à une échéance ou à un rythme différent que ceux initialement prévus. L'installation est ainsi conçue de telle sorte que sa sûreté ne soit pas dépendante de l'ordre dans lequel les colis lui sont livrés.

La flexibilité de l'exploitation permet également d'offrir aux générations futures la possibilité de modifier le schéma de fermeture de référence (cf. § 2.6.2 et 2.7 du présent document). Une fermeture anticipée des alvéoles, au fur et à mesure de leur remplissage (par tranche de travaux de fermeture engagée tous les 10 ans environ), a été étudiée par l'Andra. Ces scénarios de fermeture anticipée n'ont pas été retenus par l'Andra à ce stade, notamment pour limiter les risques en exploitation et pour préserver un haut niveau de surveillance et de récupérabilité (cf. § 2.6.2 du présent document). Toutefois, si les générations futures venaient à en décider autrement, ils seraient envisageables techniquement, sans modification significative du planning de réception, mais en échange d'une réduction notable de la flexibilité de l'exploitation.

Inversement, des opérations de fermeture partielle plus tardives des parties du stockage sont également possibles. L'Andra a étudié des scénarios dans lesquels les opérations de fermeture sont engagées à la fin de l'exploitation de Cigéo, c'est-à-dire en 2145. Ces scénarios plus tardifs n'ont pas été retenus par l'Andra à ce stade, notamment car ils ne permettent pas d'acquérir un retour d'expérience suffisant et progressif des opérations de fermeture. Toutefois, si les générations futures venaient à en décider autrement, ils seraient envisageables techniquement. En effet, les conteneurs et les ouvrages de stockage sont conçus de façon suffisamment robuste pour que le calendrier de fermeture puisse être retardé sans préjudice pour la sûreté.

#### 4.4 L'adaptabilité des installations de Cigéo

L'adaptabilité des installations de Cigéo est définie comme la capacité à leur apporter des modifications pour les adapter à de nouvelles hypothèses de dimensionnement. Elle peut aller jusqu'à des modifications notables des équipements existants ou des constructions d'ouvrages nouveaux.

Afin de définir des solutions de gestion à long terme pour les déchets radioactifs, il est important de prendre en compte le principe de proportionnalité vis-à-vis du risque et de l'impact, et l'optimisation entre les coûts (financiers, humains...) et les bénéfices attendus de la mise en place d'une solution de gestion précise. Ce principe est difficile à appliquer simplement, notamment parce qu'il exige de considérer des coûts et des bénéfices sur différentes périodes temporelles parfois très éloignées dans le futur (15).

La principale hypothèse de dimensionnement de Cigéo susceptible d'être revue avec le temps concerne son inventaire, c'est-à-dire le nombre et le type des familles de colis de déchets pour lesquels il est conçu actuellement. En effet, tout au long de l'exploitation de Cigéo, des décisions prises dans le cadre des politiques nationales de gestion des déchets pourraient orienter vers Cigéo certains déchets non initialement prévus. En fonction des volumes et des types de déchets concernés, de telles décisions présenteraient des enjeux techniques différents pour Cigéo, allant de simples ajustements de sa conception et de son exploitation, par exemple pour le stockage de certains déchets considérés comme des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) et destinés à un stockage à faible profondeur, jusqu'à des modifications notables de l'architecture, par exemple pour des scénarios de prise en charge de combustibles usés. A titre de précaution, des évaluations de sûreté menées sur un inventaire plus large que celui prévu actuellement pourraient être présentées par l'Andra à l'horizon de la DAC, sans pour autant que le stockage de ces déchets dans Cigéo ne soit considéré comme la solution de référence.

Sous réserve de son autorisation, Cigéo sera construit et son exploitation commencera avec pour objectif la mise en stockage de l'inventaire de référence (cf. § 2.1 du présent document) et dans les limites de la capacité fixée à sa création<sup>24</sup>. Si au cours de la durée d'ordre séculaire de l'exploitation de Cigéo, une décision était prise d'y stocker des déchets non prévus initialement, une demande d'autorisation spécifique devrait être déposée par l'Andra en vue de son instruction par l'ASN.

A cet égard, il faut noter que, suite à la saisine de la ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, le Haut Comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN) a élaboré un rapport faisant un état des lieux sur l'inventaire des déchets radioactifs pris en compte par le projet Cigéo, au regard des choix de politique énergétique (16). Le Haut Comité note qu'environ 30 % des déchets de haute activité et 60 % des déchets de moyenne activité à vie longue pour Cigéo sont déjà produits. Concernant les déchets futurs, le Haut Comité souligne « [qu'] ils dépendent peu de la politique de gestion exacte qui sera retenue pour le parc nucléaire actuel (sous réserve de la validité de l'hypothèse de recyclage complet in fine de tous ses combustibles usés). (...) En revanche, une politique énergétique remettant en cause l'hypothèse du recyclage complet in fine de tous les combustibles usés du parc actuel aurait un fort impact sur la nature même des déchets à stocker, mais seulement vers la fin du siècle ». Dans ses recommandations, le Haut Comité estime qu'une

<sup>24</sup> Le décret de 2007 (Décret n°2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives. Version consolidée au 27 février 2014. (2007).n°02/11/2007) indique que la capacité maximale d'une installation nucléaire de base est fixée par son décret de création et qu'un accroissement de cette capacité requiert une modification de ce décret de création.

modification importante du centre de stockage, « *comme celle qui consisterait vers la fin du siècle à y stocker des combustibles usés non traités, justifierait une participation du public allant au-delà d'une enquête publique* ».

S'agissant des combustibles usés, l'Andra a conçu Cigéo pour qu'il puisse être compatible avec leur éventuel stockage sous réserves de certaines adaptations. Celles-ci concerneraient principalement le processus de transfert dans l'installation souterraine pour la prise en charge des colis de combustibles. Aucune opération de stockage de combustibles du parc actuel n'est, en tout état de cause, envisagée avant 2085 afin de bénéficier d'une décroissance notable de leur dégagement thermique.

Dans le cadre de l'établissement du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) pour la période 2013-2015, l'Andra a étudié plusieurs scénarios associés à un éventuel stockage de colis de combustibles usés dans Cigéo. Ces études montrent la capacité de Cigéo à s'adapter, le cas échéant, au stockage de ces combustibles.

Une des principales différences techniques entre Cigéo sans ou avec combustibles usés est la substitution de quartiers de stockage des colis HA1/HA2 par des quartiers de stockage de combustibles (si des combustibles usés devaient être stockés, les colis HA1/HA2 qui auraient été générés par le traitement de ces combustibles ne seraient pas produits). Les quartiers de stockage HA0 et MA-VL sont très peu impactés. L'installation de surface EP2, dont la construction est prévue vers 2068, pourrait être adaptée à la prise en charge de ces colis.

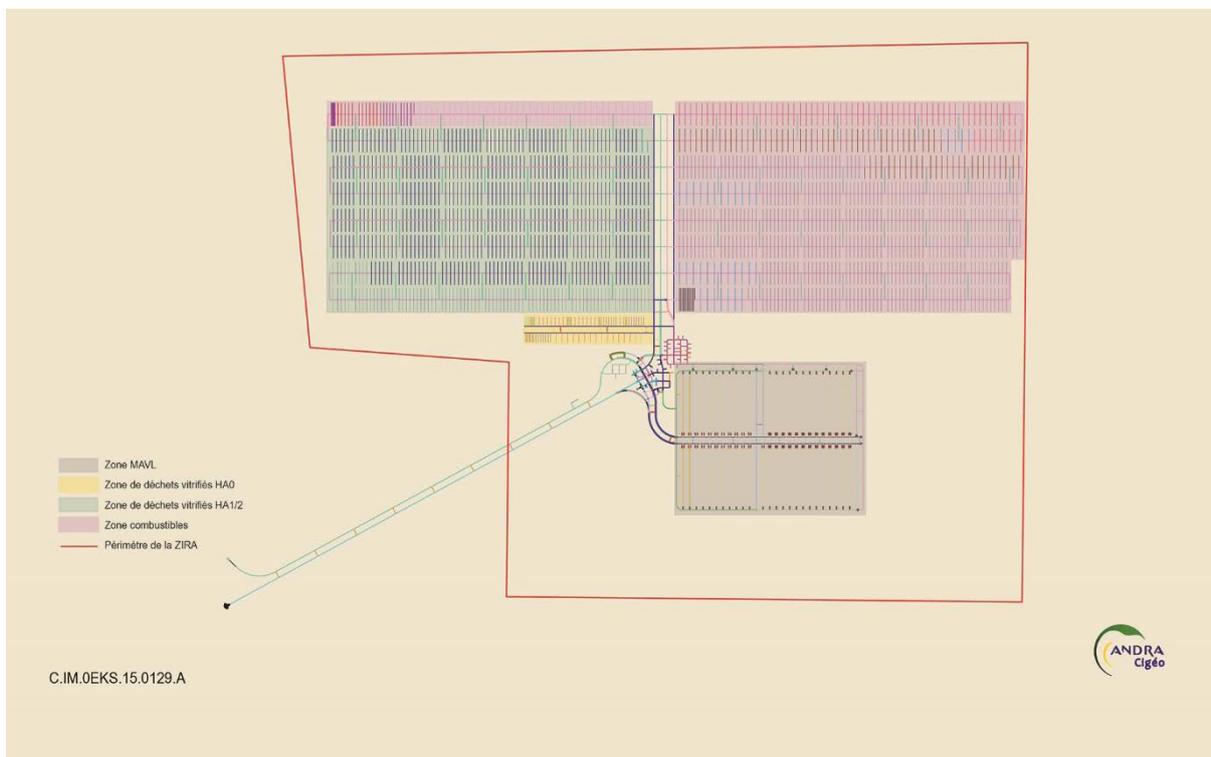


Figure 4-2 Schéma d'un exemple d'architecture souterraine intégrant le stockage de combustibles usés (sur la base des études d'APS)

Outre l'éventuelle décision de stocker des combustibles usés dans Cigéo, des modifications de l'inventaire de référence pourraient également être décidées suite à des évolutions de la solution de gestion privilégiée pour certains déchets. A titre d'exemple, des déchets considérés comme des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) et destinés à un stockage à faible profondeur, pourraient *in fine* être orientés pour un stockage dans Cigéo. Si une telle décision était prise, et sous réserve de son autorisation, ces colis supplémentaires seraient stockés dans des alvéoles de même type que les alvéoles MA-VL. Ceux-ci pourraient être ajoutés au sein du quartier MA-VL, voire dans un quartier dédié

adjacent. L'organisation de l'architecture de Cigéo préserve suffisamment de capacité en souterrain pour l'ajout de ces alvéoles, y compris au sein de l'emprise de la ZIRA.<sup>25</sup>

## 4.5 La récupérabilité des colis stockés

La récupérabilité est définie comme la capacité à retirer des colis de déchets stockés en formation géologique profonde.

Dans sa délibération du 5 mai 2014 (4), le Conseil d'administration de l'Andra a confirmé que les études de conception de Cigéo étaient poursuivies « avec l'objectif de laisser la possibilité, pendant la période d'exploitation d'une centaine d'années, de retirer les colis de déchets stockés ».

Les principales options techniques permettant d'assurer le retrait des colis de déchets stockés dans Cigéo sont présentées dans le Dossier d'options techniques de récupérabilité (DORec)<sup>26</sup>. Ces options recouvrent des dispositions de conception robustes des composants du stockage et de ses équipements, des essais pour vérifier leur bon fonctionnement et des dispositions prudentes d'exploitation, notamment en matière de surveillance. Ces dispositions visent à pouvoir réaliser les opérations de retrait sans préjudice pour la sûreté (par exemple : au moyen d'équipements de manutention équivalents à ceux utilisés pour la mise en place).

Les études menées par l'Andra recouvrent également l'aptitude à la déconstruction des ouvrages de fermeture partielle, pour le cas où une décision de retrait serait prise postérieurement à la réalisation d'une opération de fermeture. Dans ce cas, le degré d'effort à mettre en œuvre pour un éventuel retrait serait plus important<sup>27</sup>. Conformément au déroulement de référence (cf. § 2.6.2 du présent document), les premiers ouvrages de fermeture partielle seraient réalisés, sous réserve d'autorisation spécifique, en 2070 dans la zone de stockage HA0. Un programme spécifique d'essais est mené pour tester les techniques et les modalités de déconstruction des ouvrages de fermeture (scellement de galerie, remblais, ouvrage d'obturation des alvéoles HA et MA-VL). Ce programme, déjà engagé, se poursuivra pendant et après la phase industrielle pilote. Il sera décrit plus précisément dans le cadre de la DAC de Cigéo.

La récupérabilité est associée à des dispositions techniques dont la performance est justifiable sur la période séculaire prévue pour l'exploitation du stockage. Au-delà, des opérations sont possibles, mais il ne serait pas réaliste de s'engager techniquement dans une démonstration sur leurs conditions de faisabilité. Toutefois, même au-delà de la période prévue, les dispositions prises en conception facilitent toujours la récupérabilité (jeux fonctionnels, robustesse des composants). Si les générations suivantes veulent repousser la fermeture définitive, elles devront prendre les mesures nécessaires.

La récupérabilité est un des outils facilitant des choix aux générations futures dans le cadre global de la gestion des déchets radioactifs. Elle ne constitue pas une fin en soi. Elle n'a de sens qu'associée aux autres outils de la réversibilité décrits ci-avant (cf. § 4.1 du présent document), en particulier l'acquisition de connaissances rendue possible par l'exploitation de Cigéo et la poursuite des programmes de R&D relatifs aux déchets.

<sup>25</sup> Zone d'Intérêt pour la Reconnaissance Approfondie. Cette zone a) est compatible avec une implantation potentielle de l'accès de la descendrière dans la zone limitrophe Meuse/Haute-Marne ; b) est compatible avec une implantation potentielle des puits d'accès principaux dans une zone boisée ; c) évite une implantation sous les zones urbanisées des villages. Sa superficie est d'environ 30 km<sup>2</sup>. Elle a été le lieu d'une campagne sismique 3D en 2010.

<sup>26</sup> Les principales options de conception permettant la récupérabilité sont : la robustesse des conteneurs, des alvéoles et des équipements de retrait, des dispositions conservatoires préservant la possibilité d'éventuelles opérations de retrait et l'aptitude à la déconstruction des ouvrages de fermeture. Des dispositions spécifiques d'exploitation sont également prévues, par exemple la surveillance des conditions de retrait, la gestion des connaissances et la réévaluation périodique des conditions de retrait.

<sup>27</sup> L'échelle internationale de récupérabilité (Réversibilité des décisions et récupérabilité des déchets radioactifs. Éléments de réflexion pour les programmes nationaux de stockage géologique. Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire. (2012). Gestion des déchets radioactifs. Rapport n° AEN 7105. 33 p) élaborée par l'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) de l'Organisation pour la coopération et le développement économique (OCDE) décline la capacité à retirer les colis de déchets en tenant compte des étapes de fermeture plus ou moins partielle envisageables pour une installation de stockage.

La récupérabilité offre aux générations futures la possibilité de revenir sur le choix du stockage profond comme mode de gestion des déchets radioactifs, pour tout ou pour partie des colis stockés. Si une telle décision venait à être prise, les colis retirés de Cigéo seraient réexpédiés hors de Cigéo vers la filière de gestion alternative choisie. Il n'y a pas d'entreposage prévu à cette fin dans les installations de surface du projet Cigéo.

Les opérations de retrait, en fonction de leur date et de leurs conditions de mise en œuvre (avec arrêt des opérations de stockage ou avec maintien des opérations de stockage), de leur ampleur (un colis, plusieurs alvéoles ou l'ensemble du stockage) et des flux de retrait et de réexpédition souhaités (égaux ou supérieurs aux flux de dimensionnement des installations EP1 et EP2) nécessiteront ou non la construction d'ateliers complémentaires en surface. Les principales fonctionnalités potentielles de ces bâtiments, complémentaires à celles disponibles sur EP1 et EP2, sont la préparation à l'expédition, l'entreposage pour gérer les flux de réexpédition, la réexpédition, le soutien aux activités de réouverture de parties fermées du stockage. Des emprises sont laissées libres à proximité des installations de surface pour permettre la construction éventuelle de ces bâtiments.

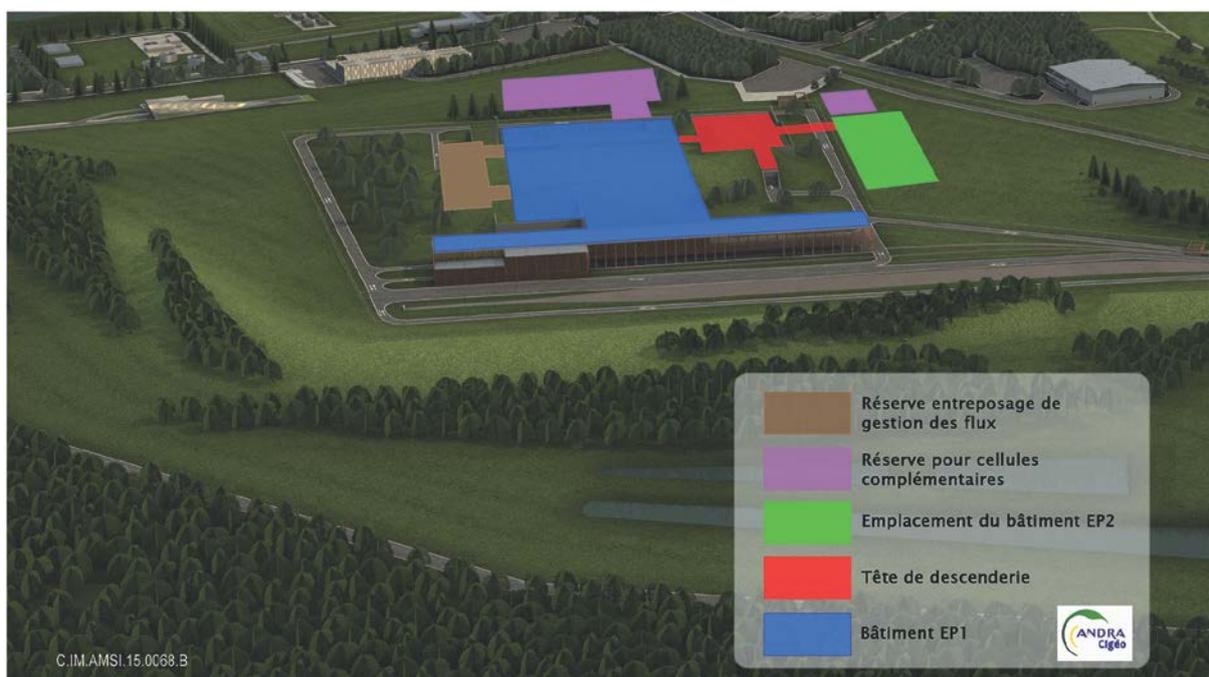


Figure 4-3 Localisation des réserves d'emprise foncière en surface pour la récupérabilité (sur la base des études d'APS)

## 4.6 Synthèse de la réversibilité

La préoccupation éthique de réversibilité trouve son origine dans l'échelle de temps qu'implique la gestion des déchets radioactifs les plus nocifs et notamment la durée d'ordre séculaire pendant laquelle le stockage est exploité.

La réversibilité du stockage est la capacité à offrir à la génération suivante des choix sur la gestion à long terme des déchets radioactifs.

Dans la pratique, la mise en œuvre du principe de réversibilité s'appuie sur des outils de gouvernance et sur des outils techniques de conduite du projet.

Les outils de gouvernance sont les suivants :

- l'amélioration continue des connaissances en matière de gestion des déchets radioactifs ;
- la transparence et la transmission des informations et des connaissances ;
- la participation de la société et l'évaluation sous la supervision du Parlement ;
- le contrôle par l'ASN.

Les outils de conduite du projet sont :

- le développement incrémental et progressivité de la construction des installations de Cigéo ;
- la flexibilité de l'exploitation ;
- l'adaptabilité des installations ;
- la récupérabilité des colis.

Le coût des dispositions techniques prises pour favoriser la réversibilité est intégré au projet. Les générations actuelles favorisent ainsi des possibilités et des facilités d'action sur le processus de stockage. Toutefois, si les générations décidaient d'exercer ces options, par exemple pour modifier le stockage pour la réception de nouveaux déchets ou pour en retirer des colis, elles auraient à supporter la charge de leurs décisions.

Le développement incrémental de Cigéo offre la possibilité aux générations futures d'accélérer ou au contraire de temporiser la construction de Cigéo. 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. En particulier, les pistes d'optimisation déjà identifiées, mais qui n'ont pas encore atteint un degré de maturité technologique compatible avec leur intégration dans la demande d'autorisation de création en 2018, pourront, sous réserve de leur autorisation, être introduites dans le projet à des étapes ultérieures.

La flexibilité de l'exploitation offre la possibilité aux générations futures de décaler ou d'accélérer (dans certaines limites liées aux performances des équipements, à leur taux d'utilisation et à la disponibilité des opérateurs) les flux de colis reçus sur Cigéo. Elle permet également de modifier le schéma de fermeture de référence pour anticiper ou retarder des opérations de fermeture partielle.

L'adaptabilité des installations de Cigéo permet des modifications du projet suite à des évolutions de ses hypothèses de dimensionnement initiales, par exemple son inventaire de référence (nombre et type des familles de colis de déchets pour lesquels Cigéo a été conçu). La conception de Cigéo permet de l'adapter à une éventuelle décision de stockage des combustibles usés ou de déchets destinés actuellement à un stockage à faible profondeur (déchets de faible activité à vie longue).

La récupérabilité offre aux générations futures la possibilité de revenir sur le choix du stockage profond comme mode de gestion des déchets radioactifs, pour tout ou pour partie des colis stockés.

# ANNEXES

## Annexe 1 Installations nucléaires produisant les déchets destinés à Cigéo

Cette annexe identifie les principales sources de production de déchets radioactifs destinés à Cigéo.

- Réacteurs nucléaires de production d'électricité

Plusieurs générations successives de réacteurs électro-nucléaires ont été développées en France :

- ✓ la première génération, aujourd'hui arrêtée, comprend neuf réacteurs de la filière « Uranium Naturel-Graphite-Gaz (UNGG) » construits durant les années 1950-1960, sur le site du CEA de Marcoule (réacteurs G1, G2 et G3) et sur les sites EDF de Chinon (réacteurs Chinon A1, A2 et A3), Bugey (réacteur Bugey 1) et Saint-Laurent (réacteurs Saint-Laurent A1 et A2) ;
- ✓ la deuxième génération correspond aux réacteurs à eau pressurisée (REP) actuellement en exploitation. Elle est constituée de 58 réacteurs<sup>28</sup> répartis sur 19 sites, mis en service entre 1977 et 1999 ;
- ✓ la troisième génération correspond à l'EPR en cours de construction sur le site de Flamanville<sup>29</sup>, appartenant également à la filière des réacteurs à eau pressurisée.

En plus de la filière UNGG, d'autres réacteurs électro-nucléaires sont aujourd'hui arrêtés : (i) le prototype industriel EL4 (Brennilis) d'une filière de réacteurs à eau lourde qui n'a pas été développée depuis, (ii) le réacteur Chooz A, prototype français de la filière REP, (iii) les réacteurs à neutrons rapides Phénix sur le site de Marcoule et Superphénix sur le site de Creys-Malville.

- Usines du cycle du combustible

L'enrichissement de l'uranium, la fabrication du combustible nucléaire, ainsi que le traitement de celui-ci à l'issue de son utilisation dans les réacteurs, s'effectuent dans différentes installations exploitées par AREVA. Le traitement industriel des combustibles usés a été mis en œuvre à partir de 1958 dans l'usine UP1 de Marcoule, puis à partir de 1966 dans l'usine UP2-400 de La Hague, usines aujourd'hui arrêtées. Actuellement, ce traitement est réalisé dans les usines UP2-800 et UP3 de La Hague.

L'usine MELOX de Marcoule produit le combustible MOX recyclant le plutonium issu du traitement.

- Installations de recherche du CEA

Le CEA s'appuie sur de nombreuses installations (réacteurs expérimentaux tels que le prototype de réacteur à neutrons rapides Rapsodie ou les réacteurs Orphée et Osiris, laboratoires d'études sur les combustibles ou l'aval du cycle, notamment l'installation Atalante...) situées principalement sur les sites de Cadarache, Saclay et Marcoule. Ces sites disposent aussi d'installations support (entrepôts de déchets, installations de traitement de déchets et d'effluents). Certaines de ces installations sont aujourd'hui arrêtées et en cours d'assainissement-démantèlement.

- Nouvelles installations

En plus de l'EPR de Flamanville, plusieurs installations nouvelles ont fait l'objet d'un décret d'autorisation de création sur le site de Cadarache : le réacteur expérimental Jules Horowitz, l'installation ITER (installation expérimentale sur l'énergie de fusion nucléaire par confinement magnétique) ; l'installation RES (réacteur d'essais en soutien à la propulsion nucléaire de la Marine Nationale).

<sup>28</sup> Le parc de REP en exploitation comprend 34 tranches de 900 MWe, 20 tranches de 1 300 MWe et 4 tranches de 1 450 MWe, La puissance installée totale s'élève à 63,1 GWe.

<sup>29</sup> D'une puissance de 1 650 MWe.

## Annexe 2 Inventaire des colis de déchets destinés à Cigéo (sur la base du scénario industriel d'exploitation des installations établi par AREVA, le CEA et EDF)

- Déchets de haute activité

Identifiant de l'Inventaire national	Intitulé	Nombre de colis	Volume estimatif <sup>30</sup> (m <sup>3</sup> )
F1-3-01	Colis de déchets vitrifiés CSD-V (AREVA/La Hague)	51 511	9 274
F1-3-02	Colis de solutions molybdiques de solutions de produits de fission vitrifiées (AREVA/La Hague)	1 000	180
F1-4-01	Colis de déchets vitrifiés AVM (CEA/Marcoule)	3 159	553
F1-5-01	Colis de déchets vitrifiés PIVER (CEA/Marcoule)	96	17
-	Colis de déchets vitrifiés d'Atalante (CEA/Marcoule)	5	1
F1-3-03	Colis de déchets technologiques issus des ateliers de vitrification (AREVA/La Hague)	200	36
F1-3-04	Colis de capsules de titanate de strontium (AREVA/La Hague)	3	1
F1-3-05	Déchets issus des colonnes d'élution d'ELAN IIB conditionnés en conteneurs standard (AREVA/La Hague)	52	9
S01	Sources scellées usagées	7	1

<sup>30</sup> Les volumes indiqués correspondent au volume d'eau qui serait déplacé par immersion du colis primaire.

▪ Déchets de moyenne activité à vie longue<sup>31</sup>

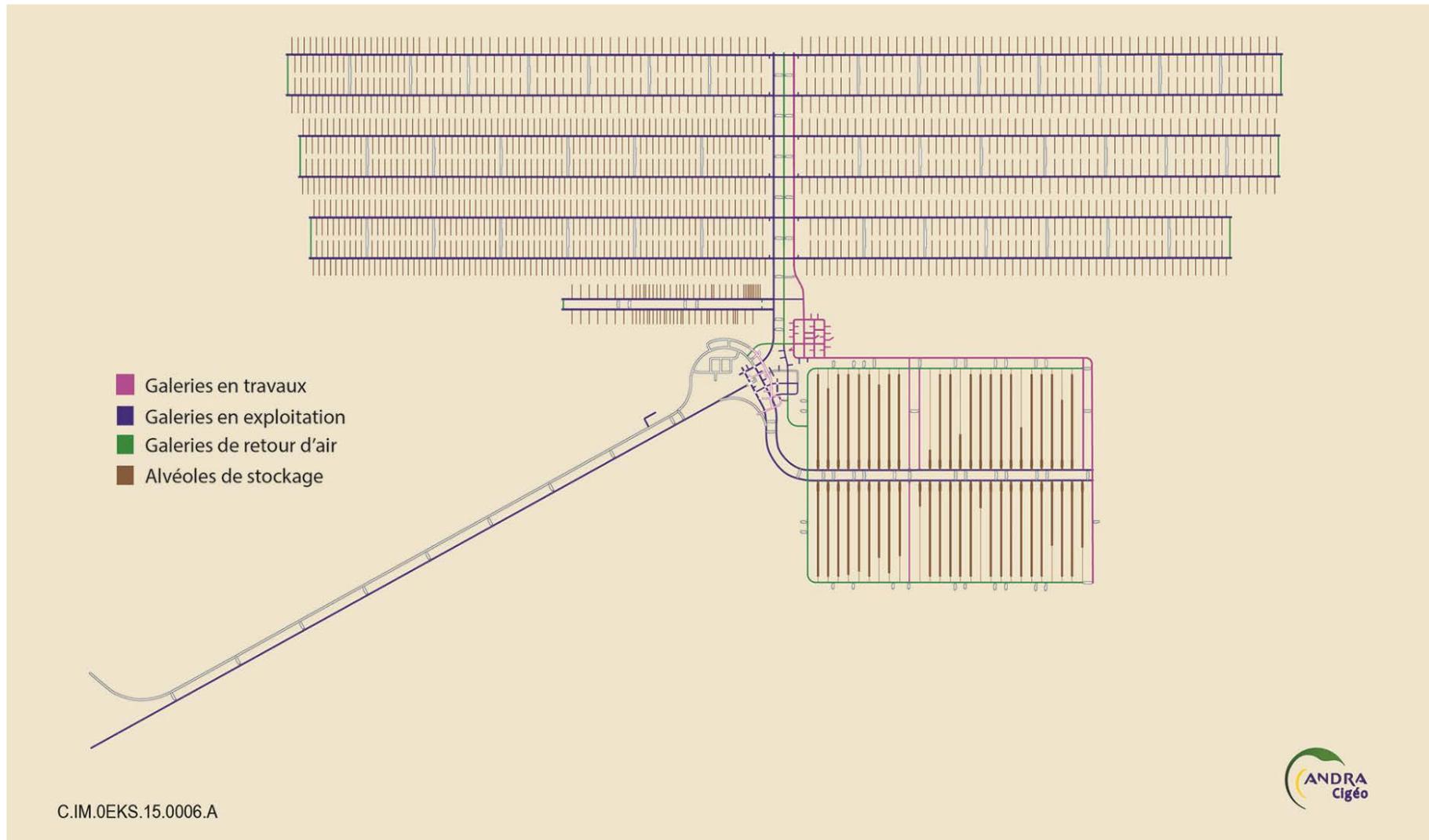
Identifiant de l'Inventaire national	Intitulé	Nombre de colis	Volume estimatif (m <sup>3</sup> )
F2-3-01	Colis de coques et embouts cimentés en fûts métalliques (AREVA/La Hague)	1 517	2 276
F2-3-02	Colis de déchets compactés en conteneurs standards CSD-C (AREVA/La Hague)	50 910	9 165
F2-4-07	Colis de déchets de structure métalliques (CEA/Marcoule)	1 320	502
F2-4-09	Colis de déchets de structure magnésiens (CEA/Marcoule)	7 464	1 642
F2-3-04	Colis d'enrobés bitumineux produits à partir d'effluents traités dans la STE3 (AREVA/La Hague)	11 900	2 642
F2-3-05	Colis d'enrobés bitumineux produits à partir d'effluents traités dans la STE2 (AREVA/La Hague)	340	75
F2-4-03	Colis d'enrobés bitumineux produits depuis janvier 1995 (CEA/Marcoule)	4 409	1 676
F2-4-04	Colis d'enrobés bitumineux produits avant janvier 1995 (CEA/Marcoule)	24 422	9 280
F2-2-03	Déchets activés des réacteurs EDF hors déchets sodés (EDF)	1 900	3 800
F2-4-15	Aiguilles des barres de commande des réacteurs à neutrons rapides (EDF, CEA)	8	13
F2-3-02	Colis de déchets compactés en conteneurs standards CSD-C (AREVA/La Hague)	4 950	891
F2-3-07	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits avant 1994 (AREVA/La Hague)	324	382
F2-3-08	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés produits depuis 1994 (AREVA/La Hague)	9 738	11 490
F2-3-10	Déchets contaminés en émetteurs alpha (AREVA/La Hague)	4 400	1 025
F2-3-11	Colis de déchets vitrifiés (CSD-B) : effluents de rinçage (AREVA/La Hague)	900	162
F2-3-12	Colis de boues de la STE2 séchées et compactées (AREVA/La Hague)	14 429	3 867

<sup>31</sup> Les filières de gestion à long terme des déchets collectés par l'Andra non susceptibles d'un stockage en surface font l'objet d'études. A ce stade, l'estimation du volume de tels déchets qui seraient destinés à Cigéo est de 18 m<sup>3</sup>.

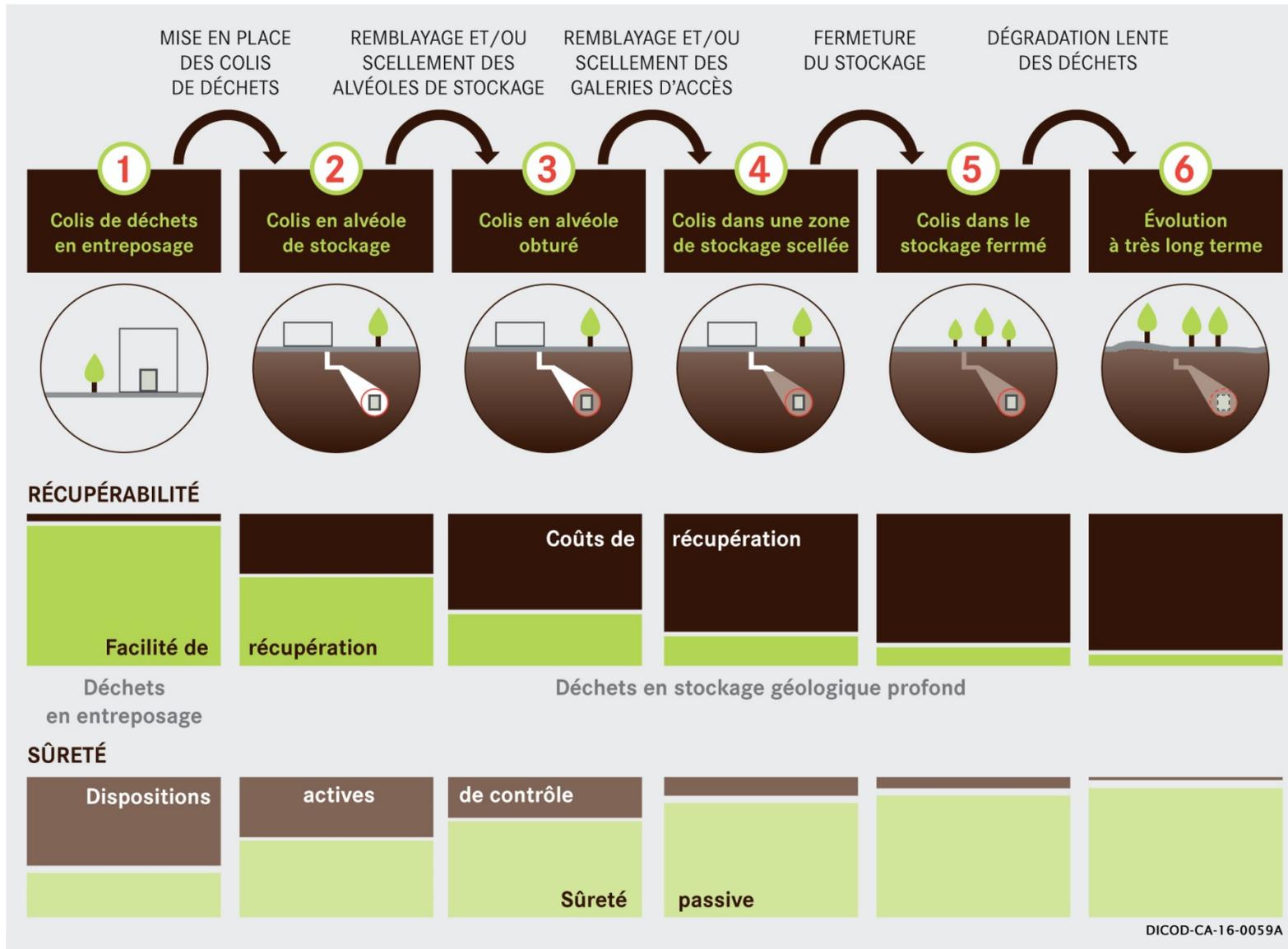
Identifiant de l'Inventaire national	Intitulé	Nombre de colis	Volume estimatif (m <sup>3</sup> )
F2-3-13	Colis de fines et résines du silo HAO (AREVA/La Hague)	121	182
F2-4-05	Colis de déchets solides d'exploitation de l'AVM en conteneur en acier inoxydable (CEA/Marcoule)	188	33
F2-4-10	Colis de déchets de procédé et colis d'effluents cimentés (CEA/Marcoule)	3 133	1 191
F2-4-11	Déchets technologiques métalliques et organiques (CEA/Marcoule)	1 353	514
F2-4-12	Déchets du cœur du réacteur Phénix (CEA/Marcoule)	789	163
F2-4-13	Colis vitrifiés d'effluents de rinçage de l'AVM (CEA/Marcoule)	147	26
F2-4-14	Colis de déchets de structure entreposés à l'APM et déchets de démantèlement de l'APM (CEA/Marcoule)	510	115
F2-5-01	Colis de sulfates de plomb radifères (CEA/Cadarache)	971	457
F2-5-02	Colis de boues de filtration cimentées en coques béton de 500 litres (CEA/Cadarache)	4 870	1 908
F2-5-03	Conteneurs métalliques 870 litres contenant un fût de 700 litres de concentrats cimentés (CEA/Cadarache)	40	44
F2-5-04	Colis de déchets solides d'exploitation cimentés en fûts métalliques (CEA/Cadarache)	7 744	6 815
F2-5-05	Colis de déchets solides d'exploitation moyennement irradiants en fûts de 500 litres (CEA/Cadarache)	3 887	1 944
F2-5-06	Coques en béton (1 800 ou 1 000 litres) de déchets solides cimentés (ciment ou ciment bitume) (CEA/Cadarache)	268	502
F2-6-02	Colis de boues et concentrats cimentés en fûts métalliques (CEA/Valduc)	360	80
F2-6-03	Conteneurs inox contenant des effluents radioactifs issus du recyclage du Pu (CEA/Valduc)	300	54
F2-9-01	Colis "blocs sources" (CEA/Cadarache)	41	125
S01	Sources scellées usagées	80	58
Autres familles	Déchets divers du réacteur ITER	4 676	3 211
	Déchets activés de déconstruction (DAD) des réacteurs REP	6 360	7 000

Identifiant de l'Inventaire national	Intitulé	Nombre de colis	Volume estimatif (m <sup>3</sup> )
	Conteneurs en acier inoxydable (poubelles Phénix) contenant des déchets irradiants	200	41
	Déchets divers d'exploitation et de démantèlement du CEA	530	108
	Déchets de déconstruction des installations du centre CEA Valduc	40	35
	Déchets divers MA-VL (dont déchets de l'AMI Chinon)	423	97

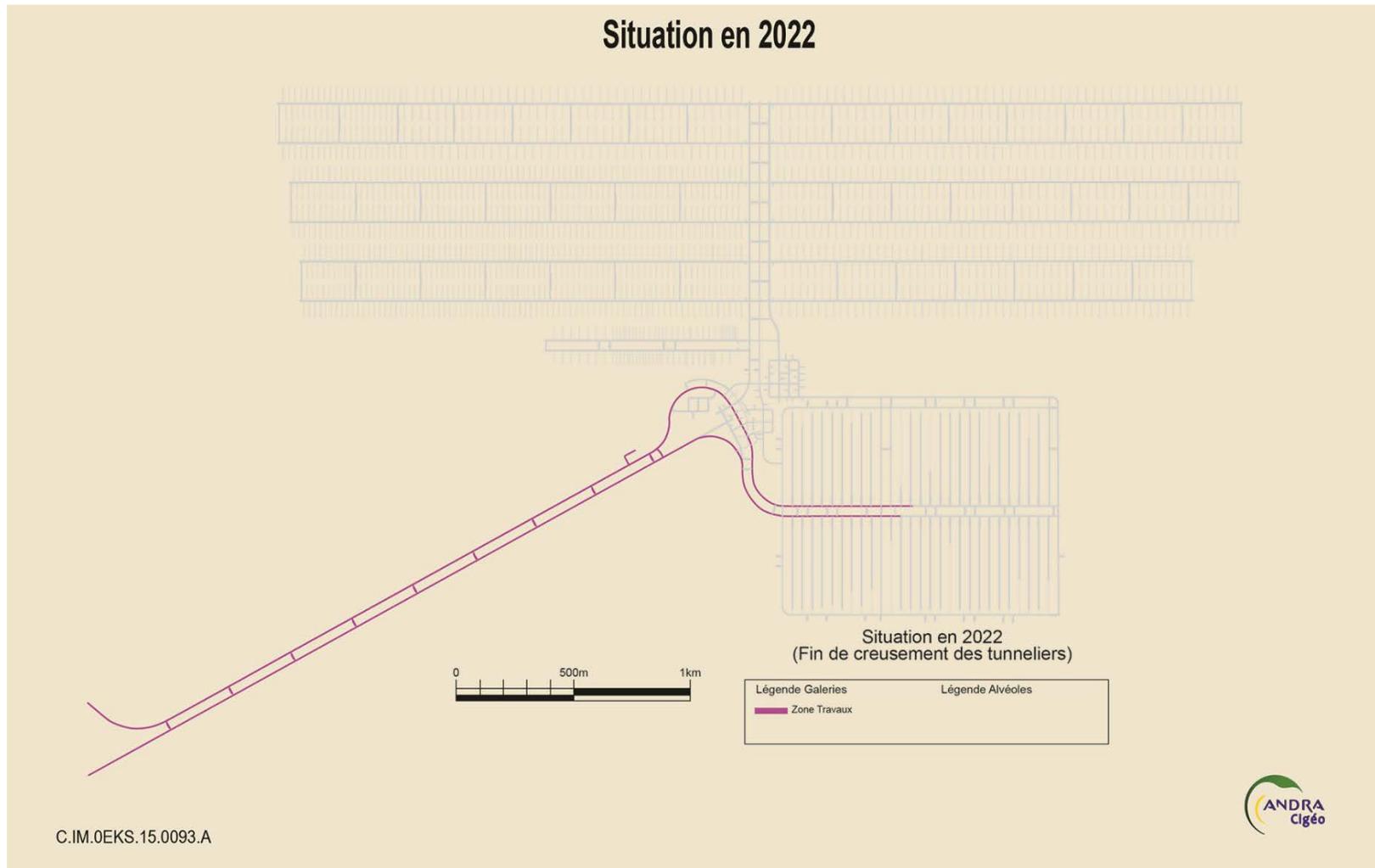
### Annexe 3 Présentation de l'architecture souterraine de Cigéo (illustration sur la base des études de fin d'APS)



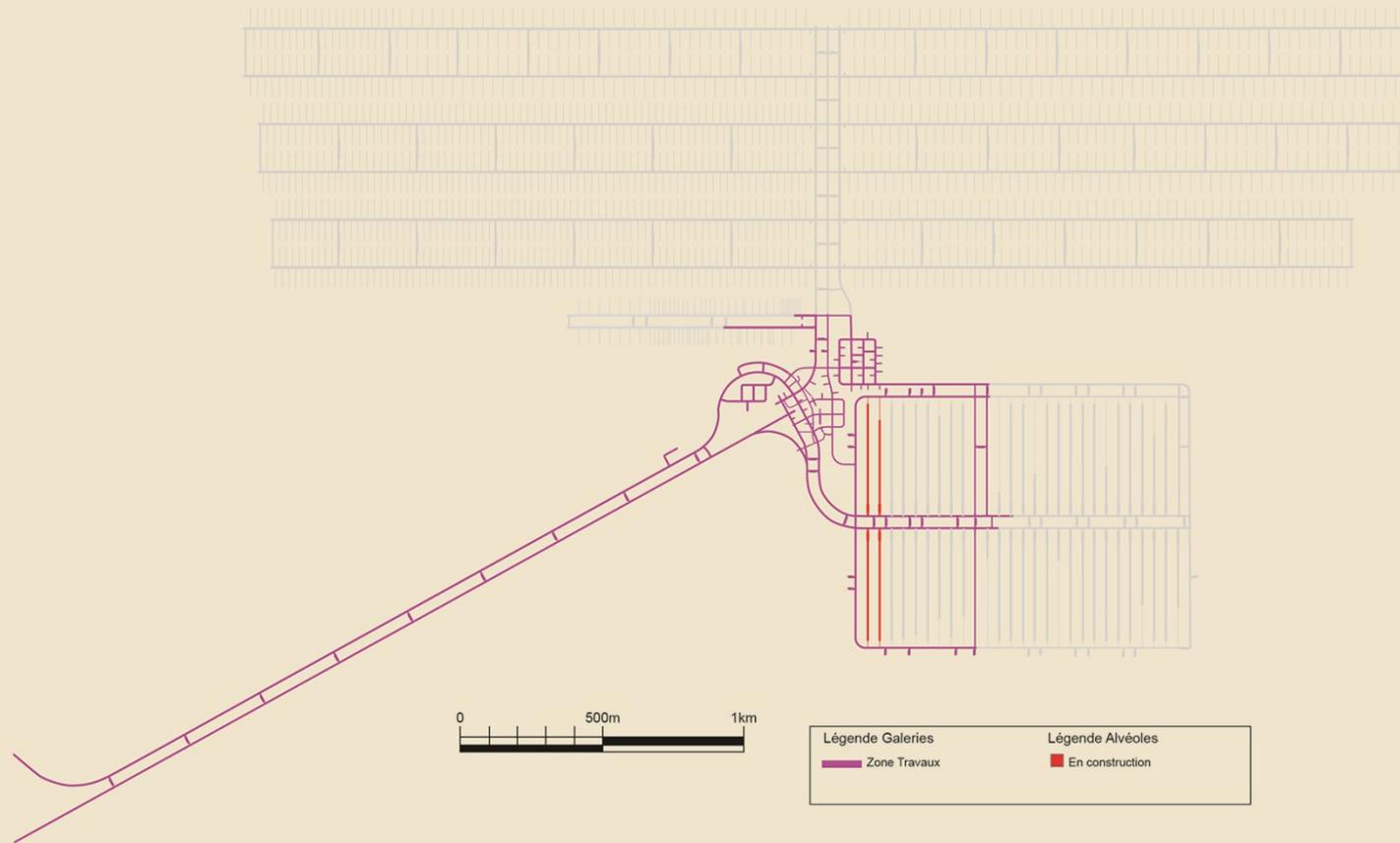
## Annexe 4 Échelle internationale de récupérabilité (13)



## Annexe 5 Déroutement de référence de la construction de l'installation souterraine (illustrations réalisées sur la base des études de fin d'APS)

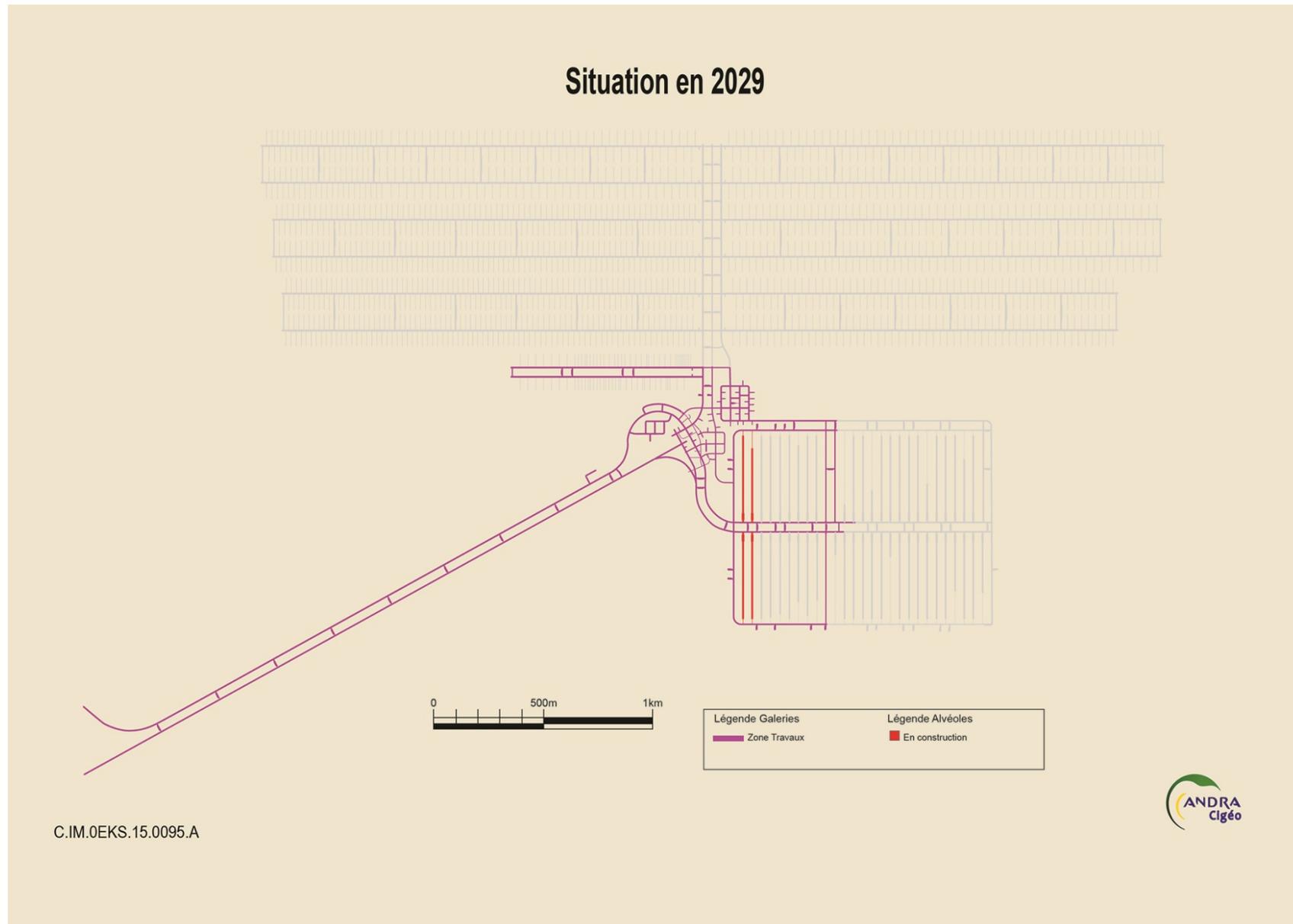


## Situation en 2024

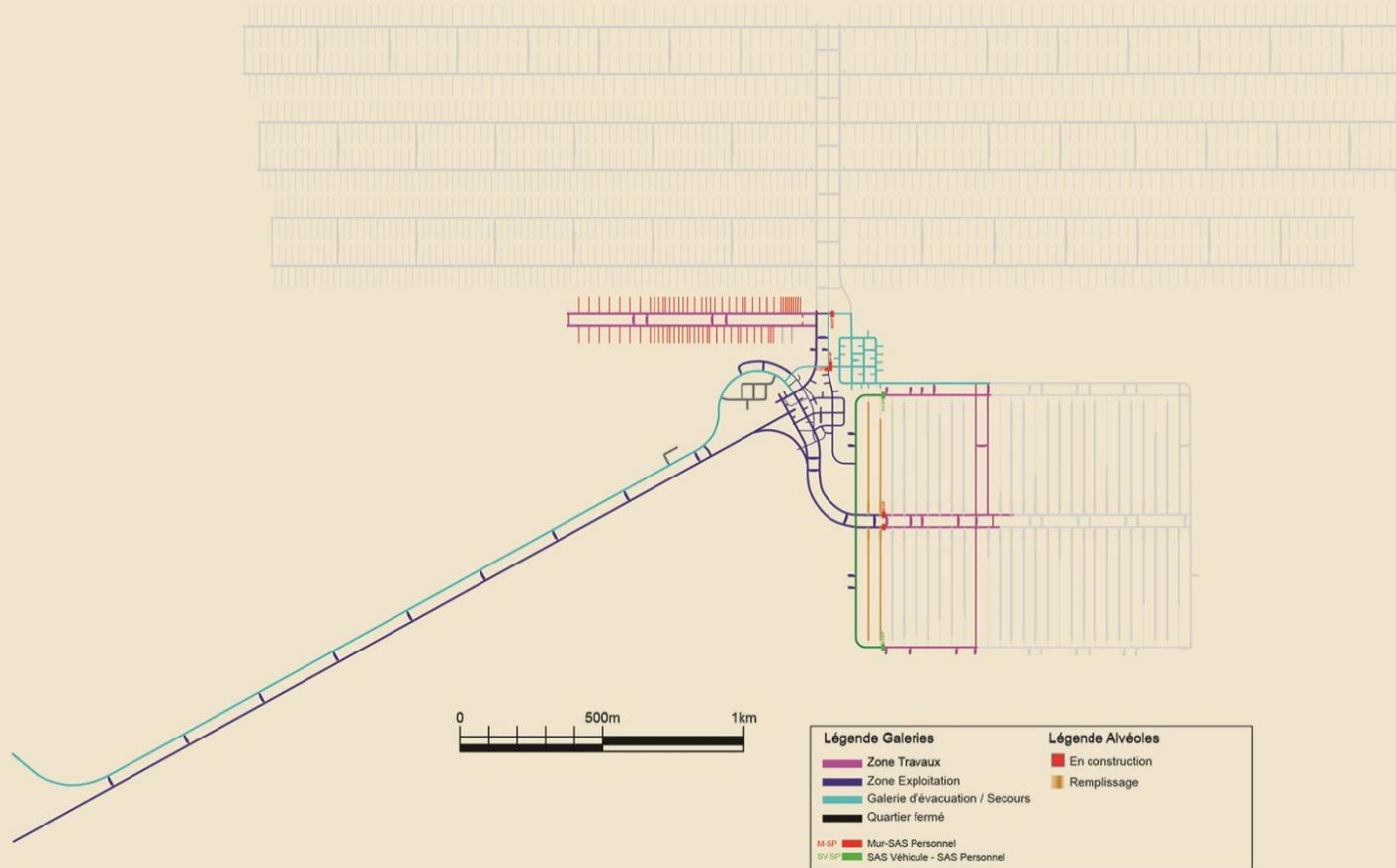


C.IM.0EKS.15.0094.A





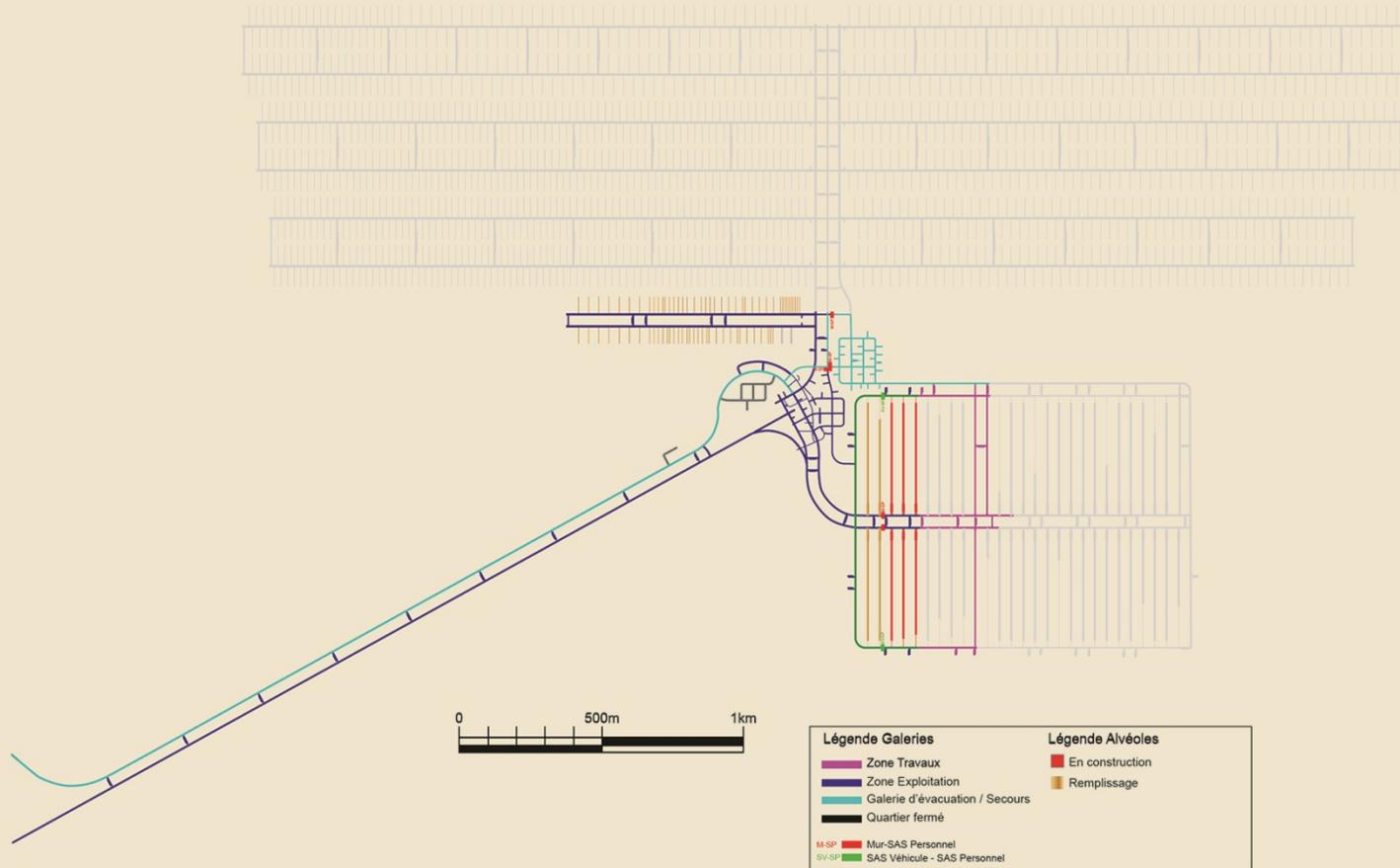
## Situation en 2031



C.IM.0EKS.15.0096.A

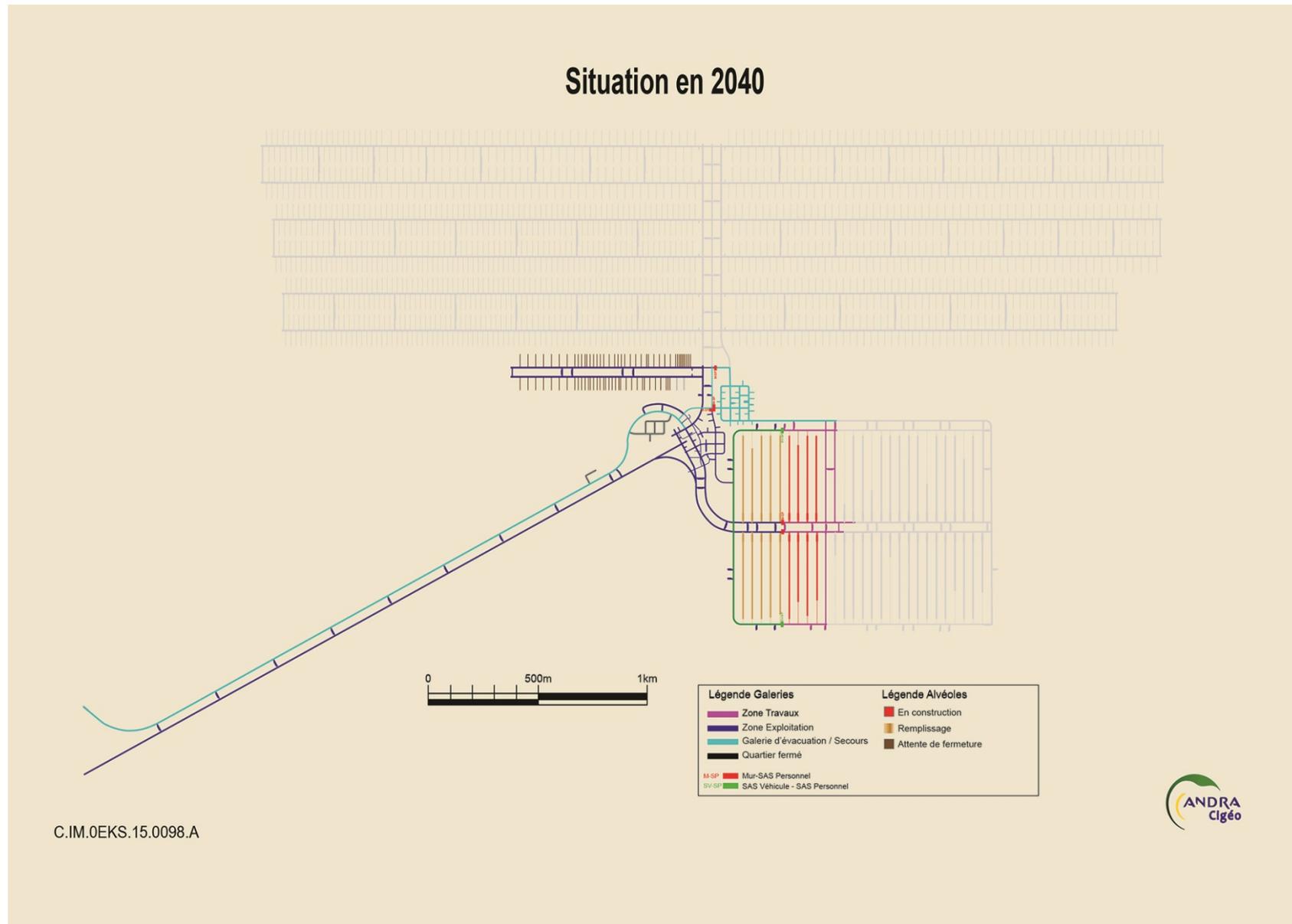


## Situation en 2033

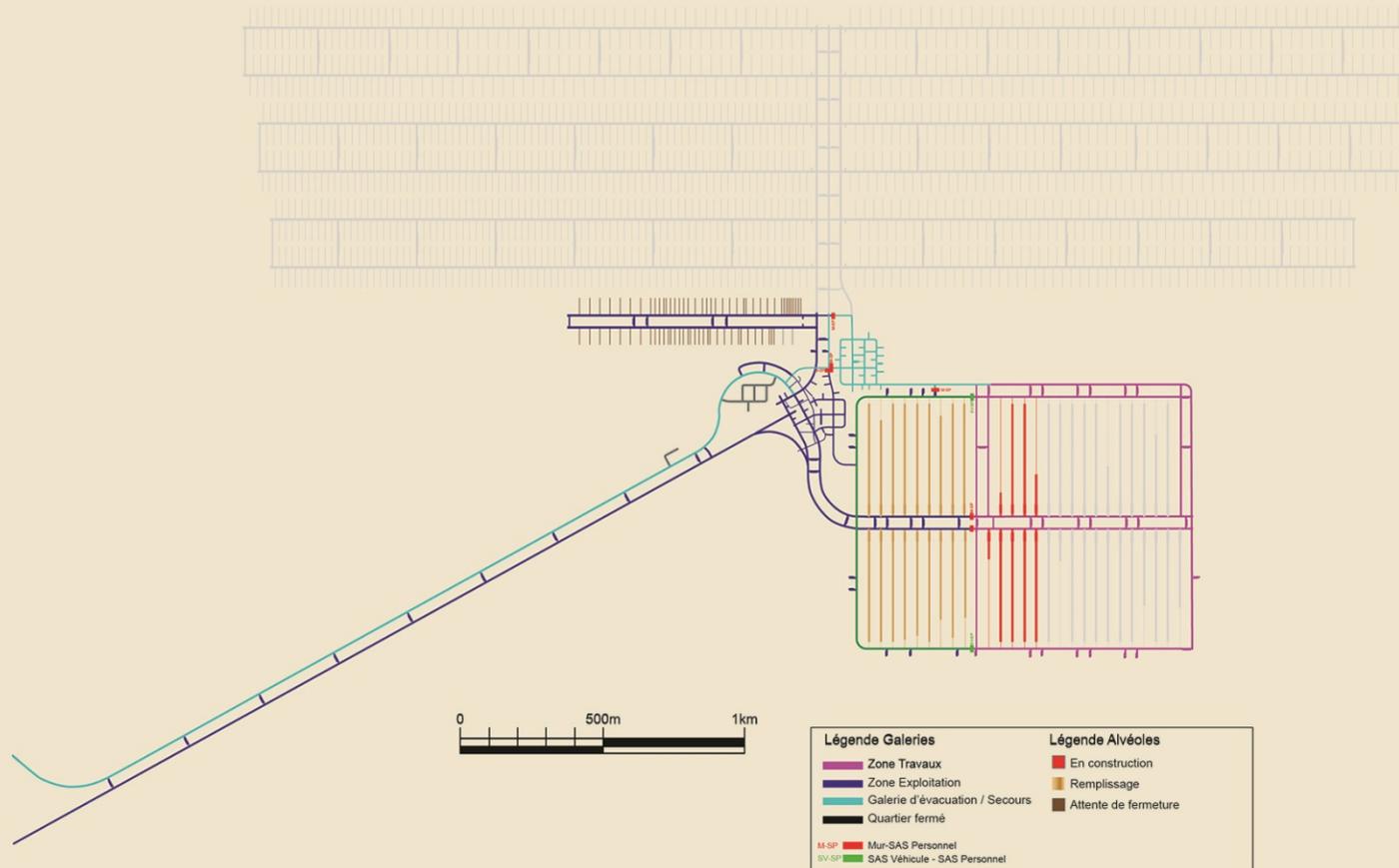


C.IM.0EKS.15.0097.A





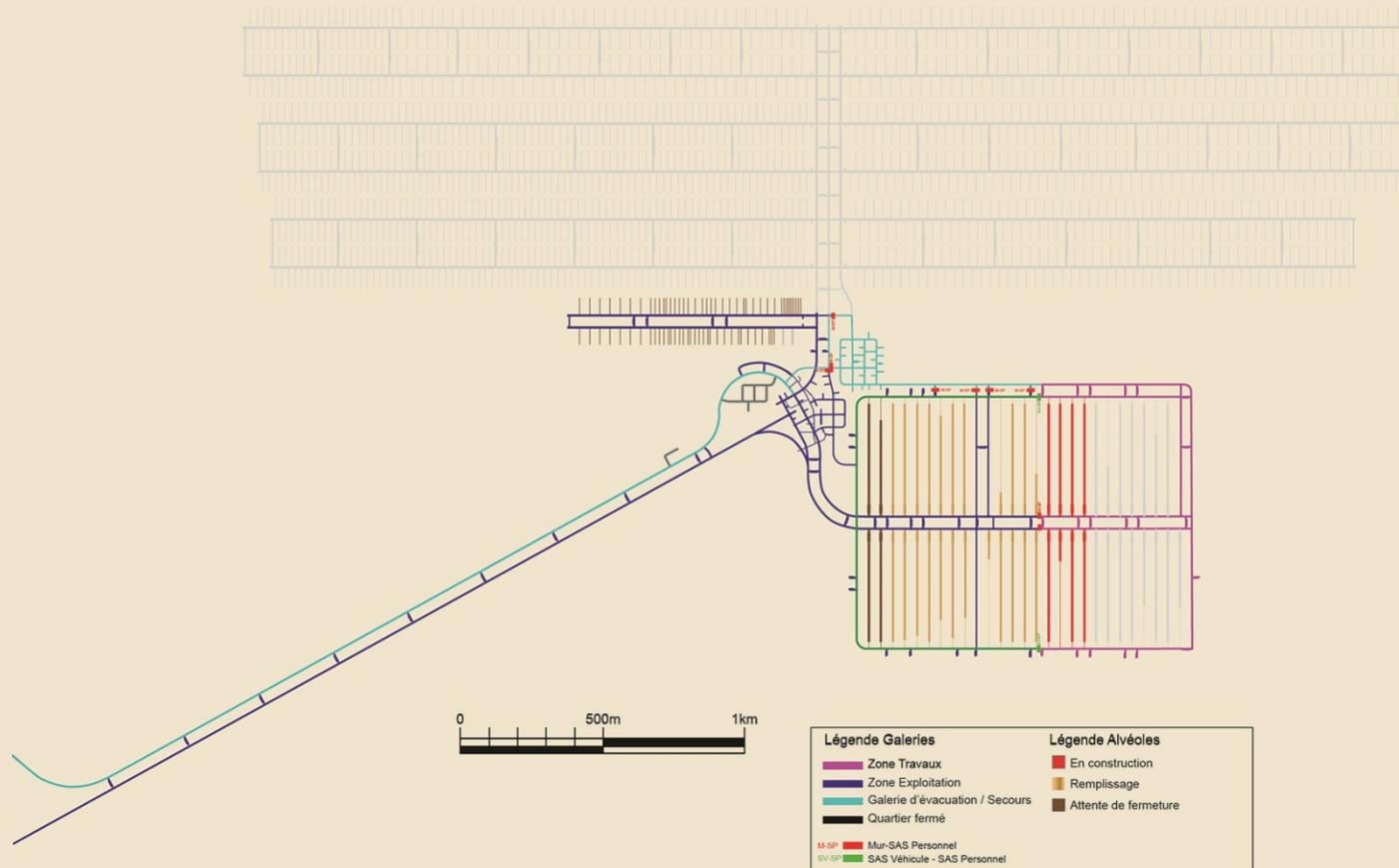
## Situation en 2046



C.IM.0EKS.15.0099.A

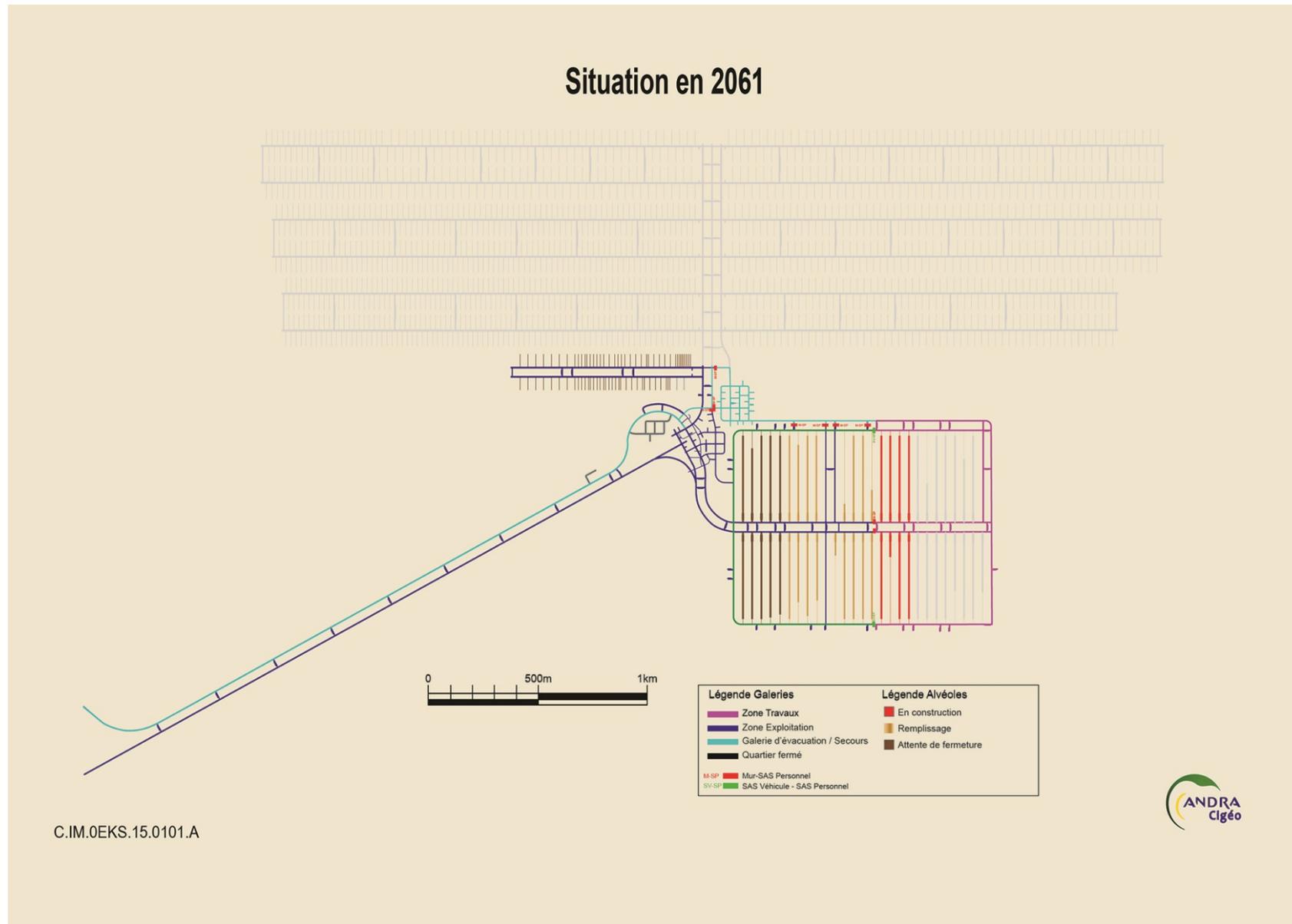


## Situation en 2058



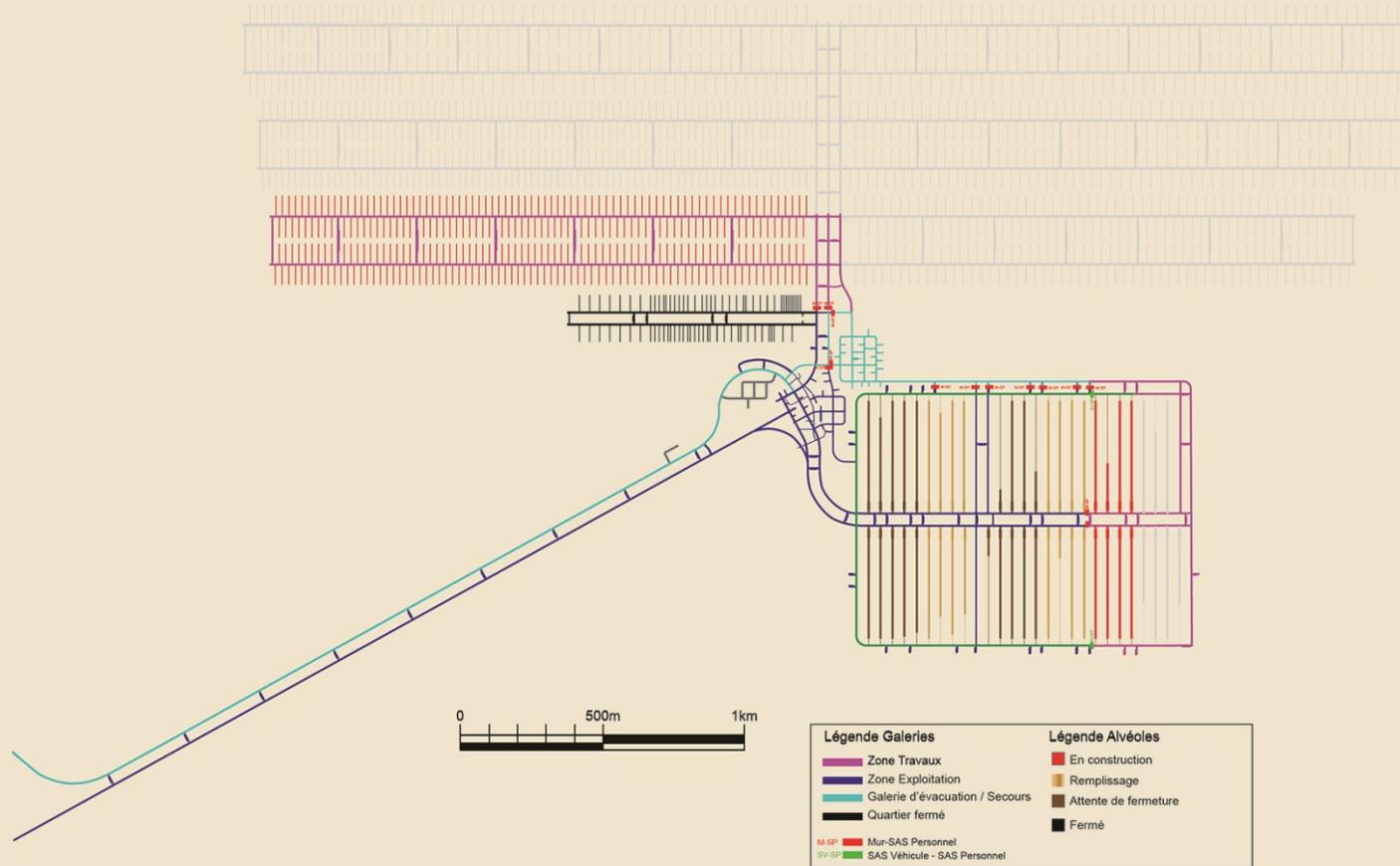
C.IM.0EKS.15.0100.A







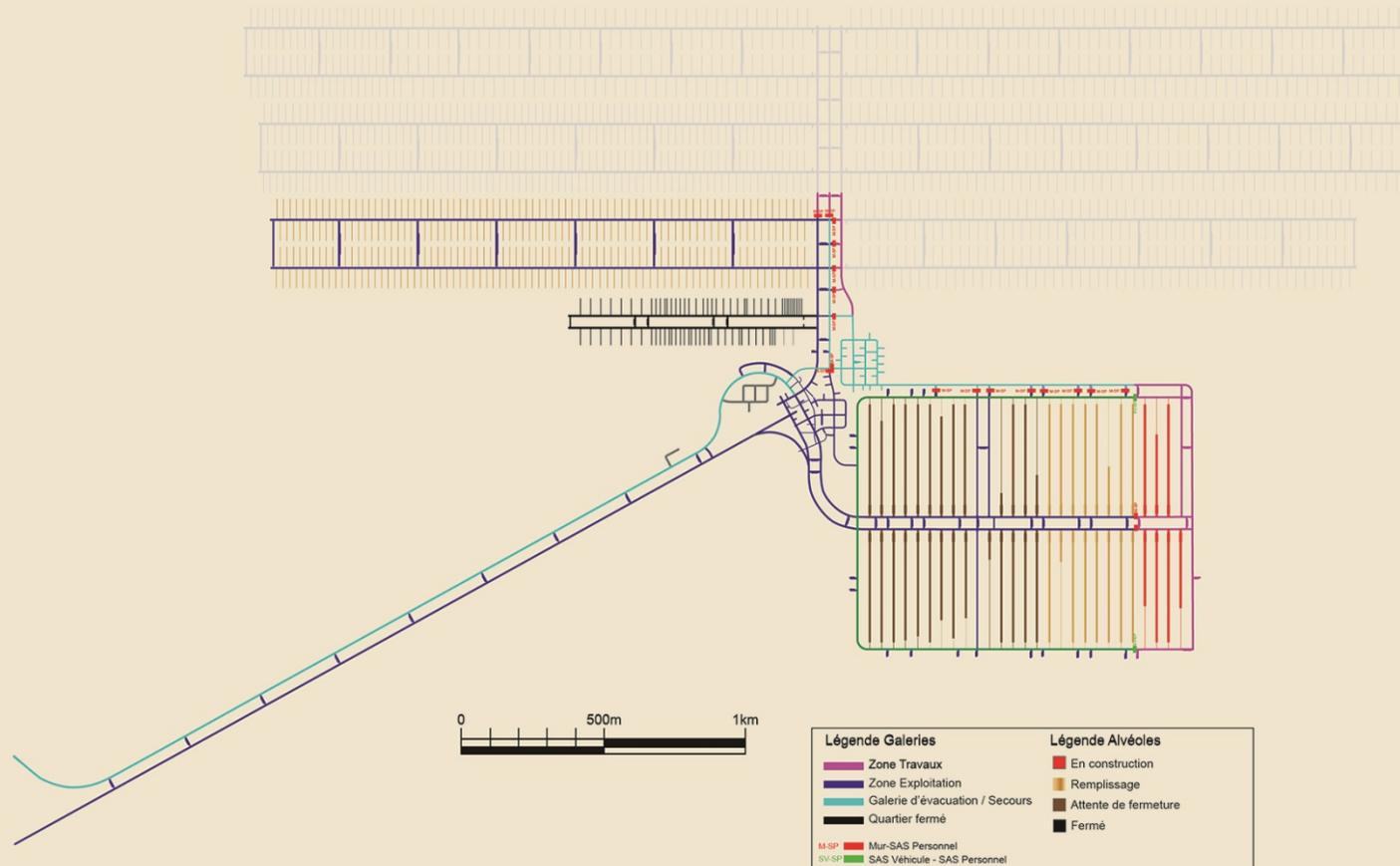
## Situation en 2073



C.IM.0EKS.15.0103.A



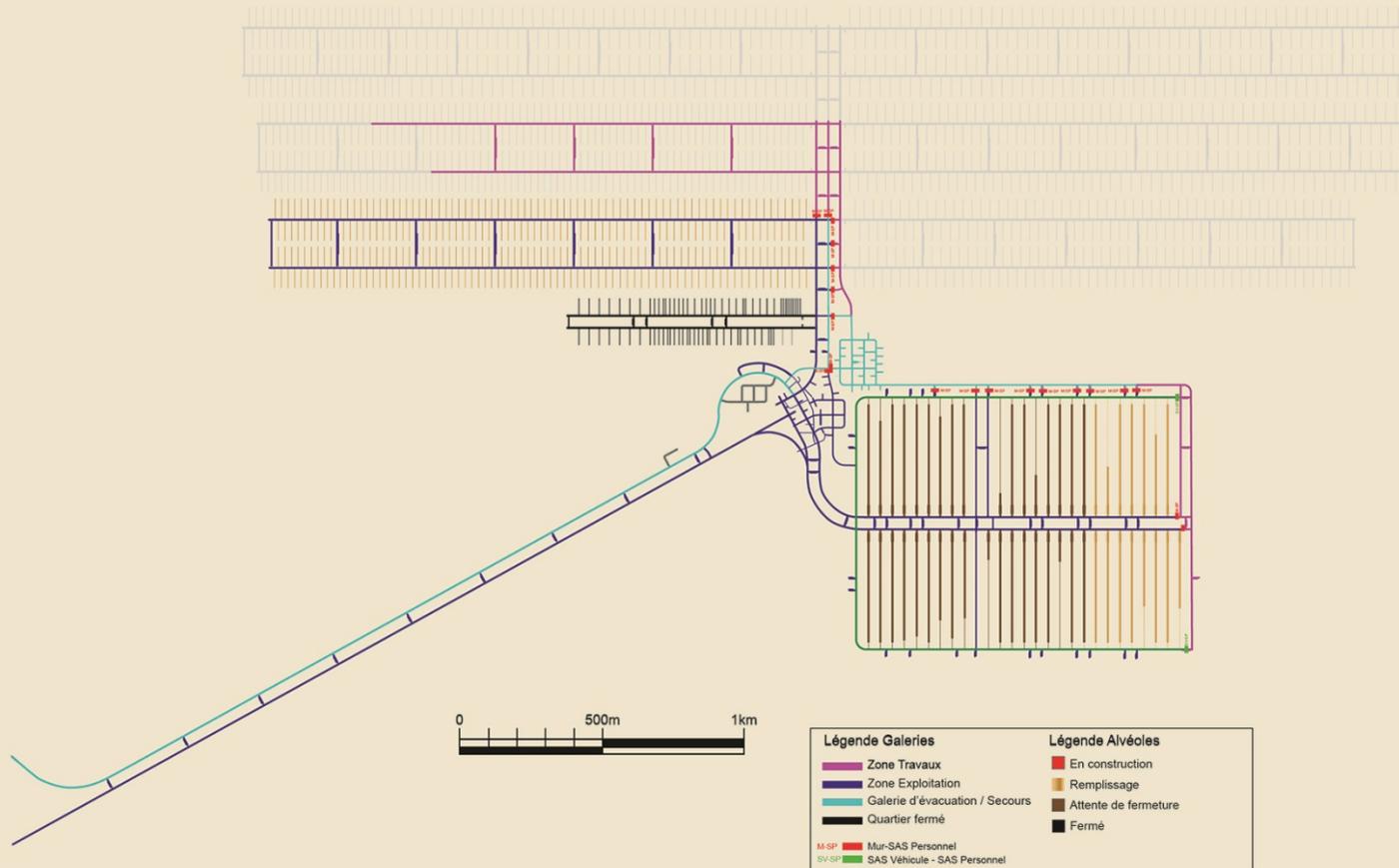
## Situation en 2081



C.IM.0EKS.15.0104.A



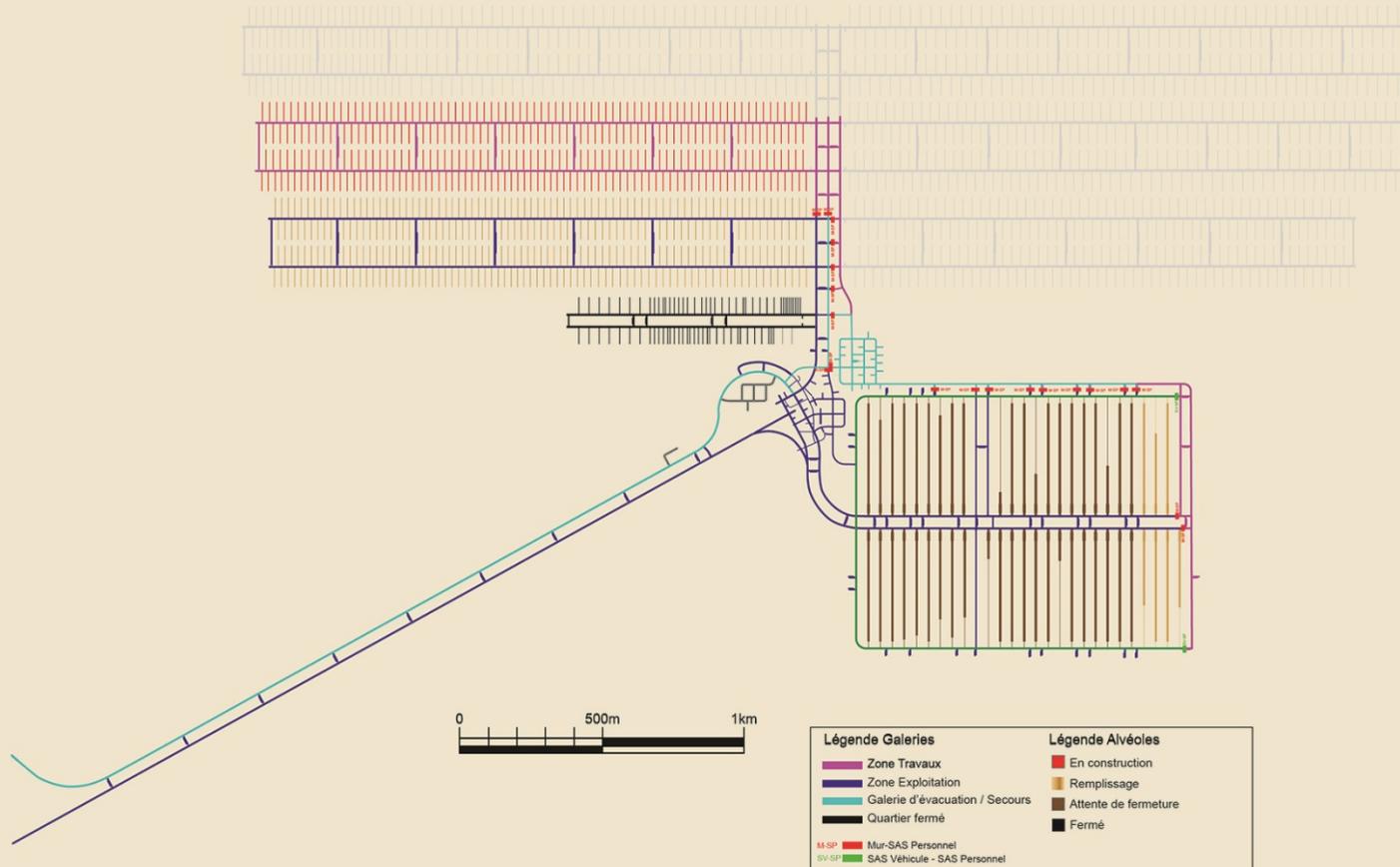
## Situation en 2092



C.IM.0EKS.15.0105.A

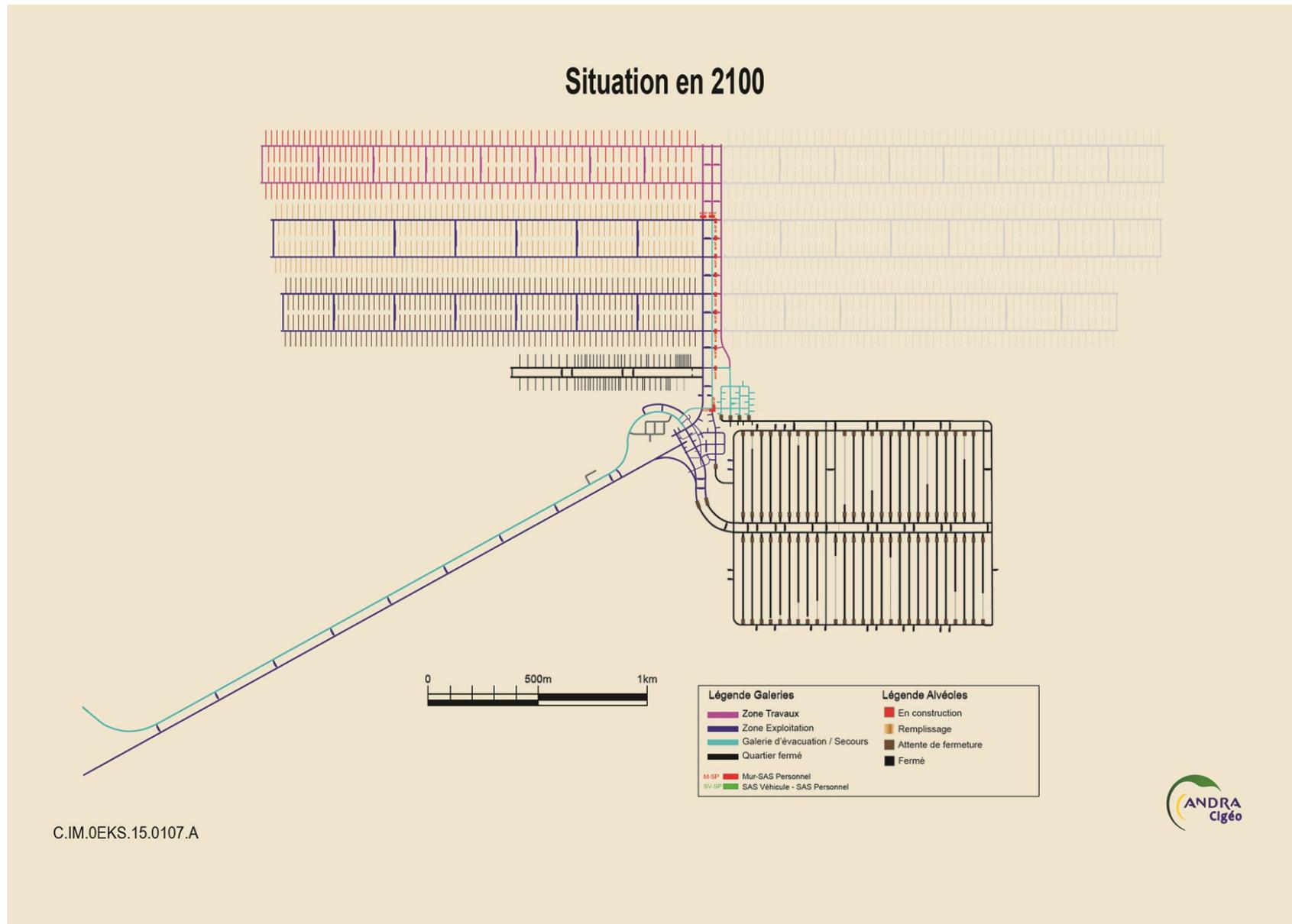


## Situation en 2095

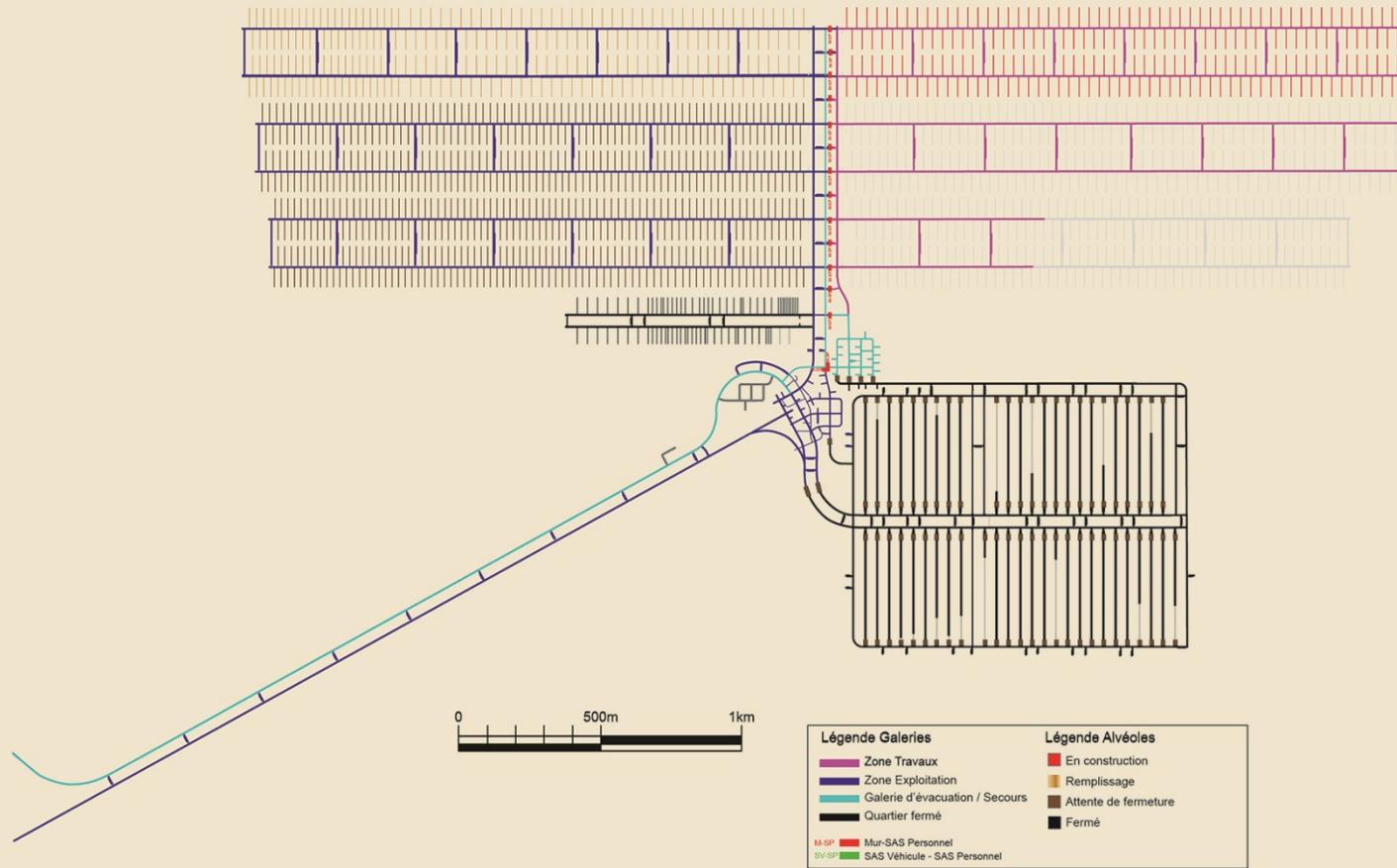


C.IM.0EKS.15.0106.A





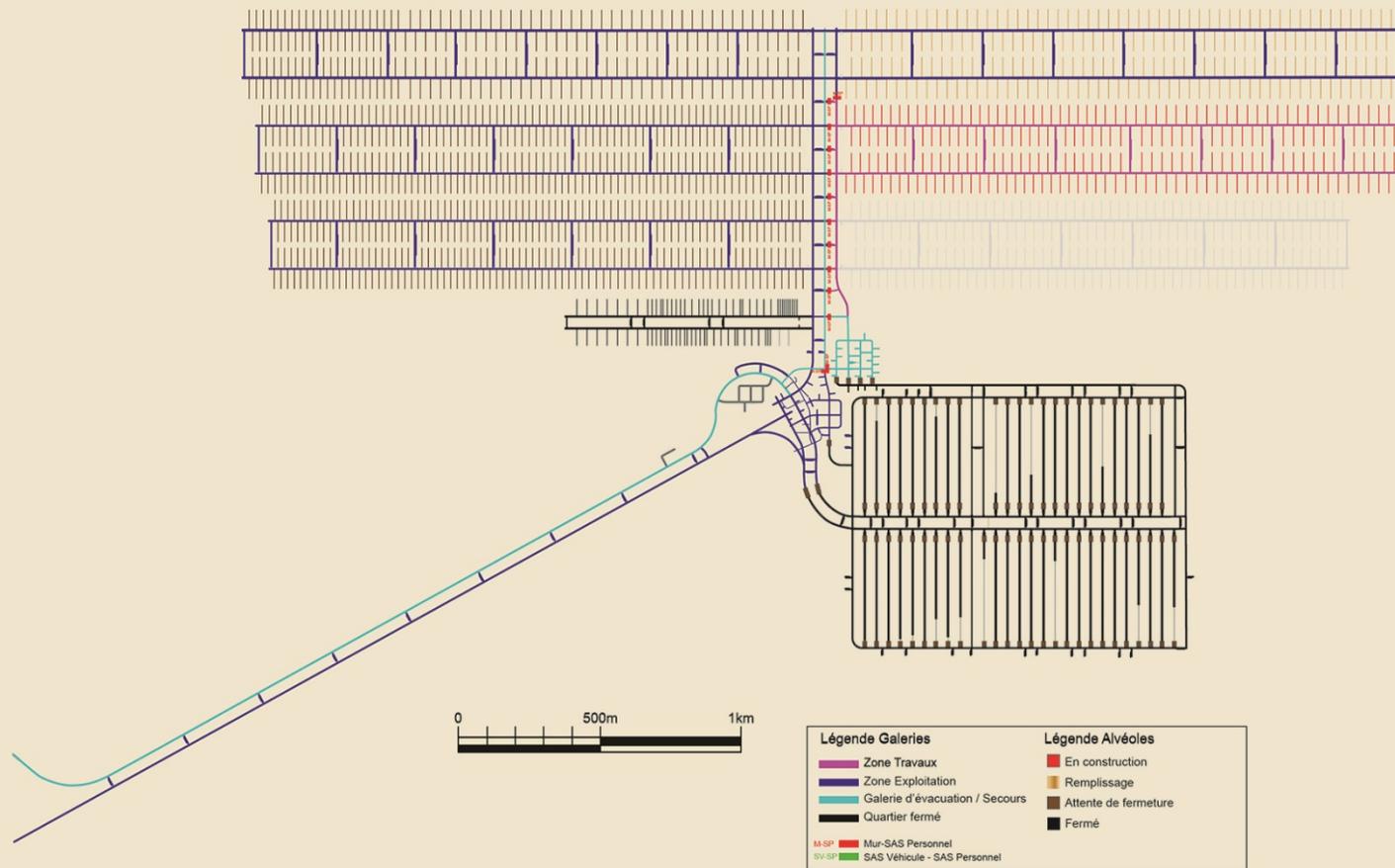
## Situation en 2013



C.IM.0EKS.15.0108.A



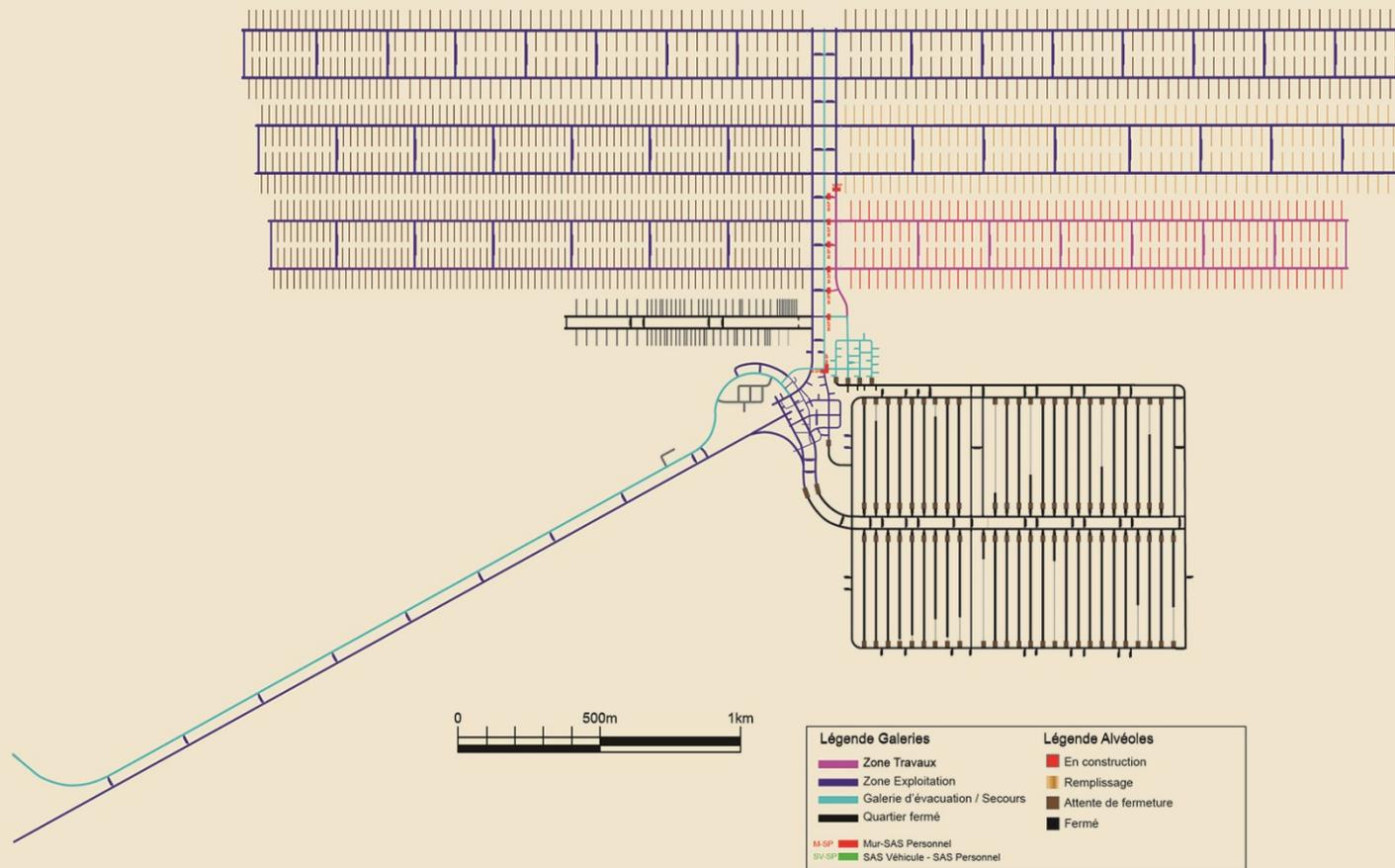
## Situation en 2122



C.IM.0EKS.15.0109.A



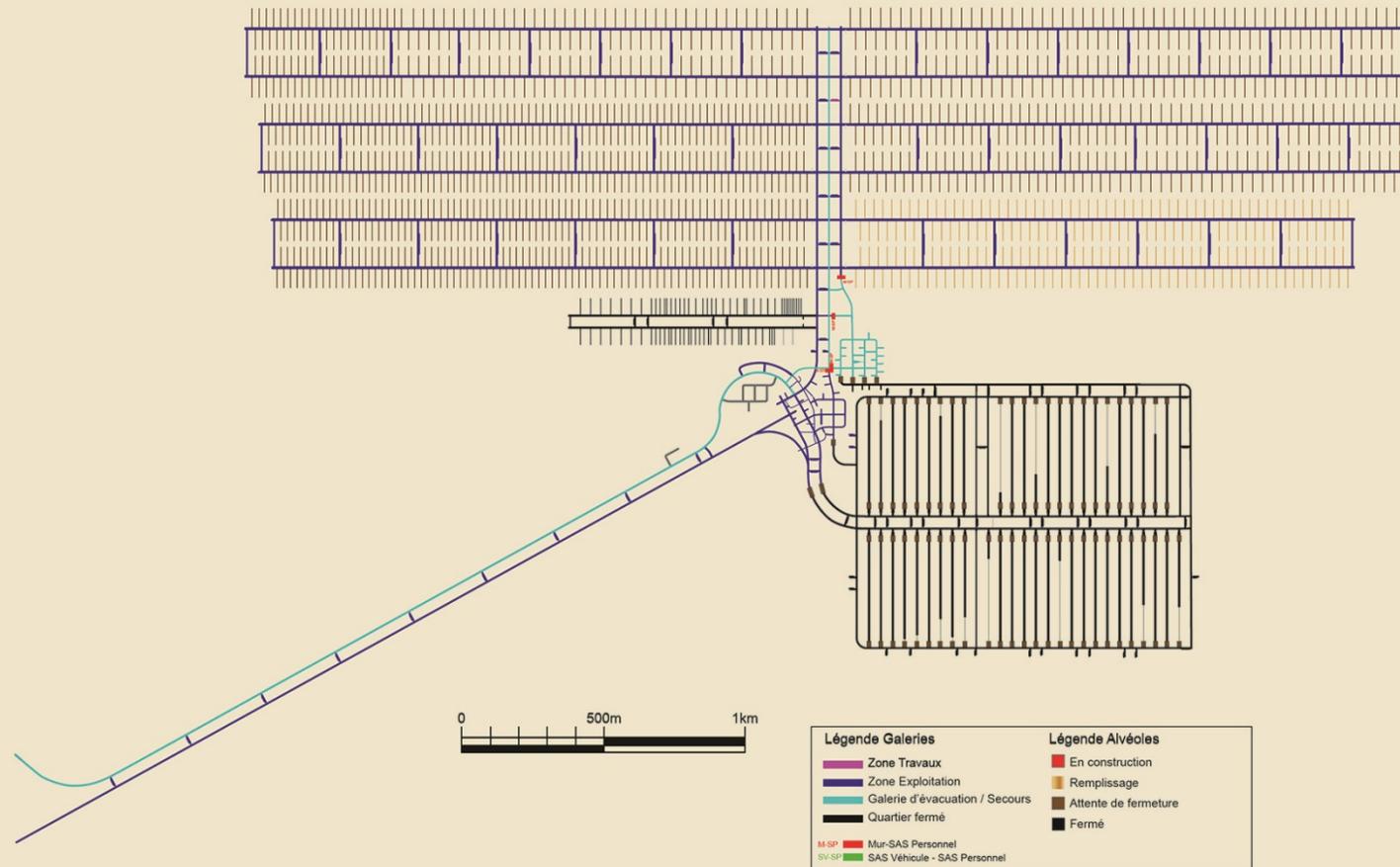
## Situation en 2131



C.IM.0EKS.15.0110.A



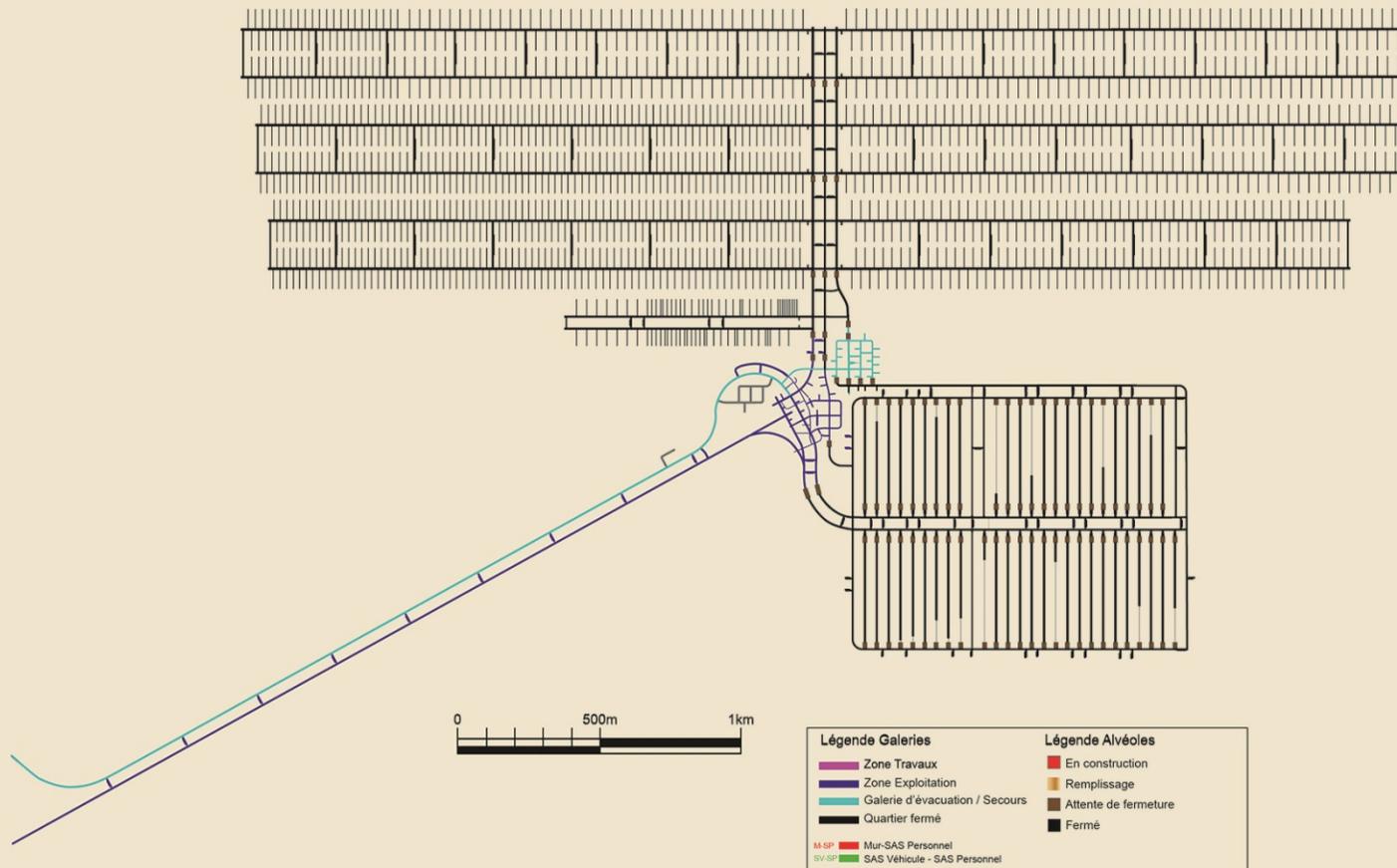
## Situation en 2139



C.IM.0EKS.15.0111.A



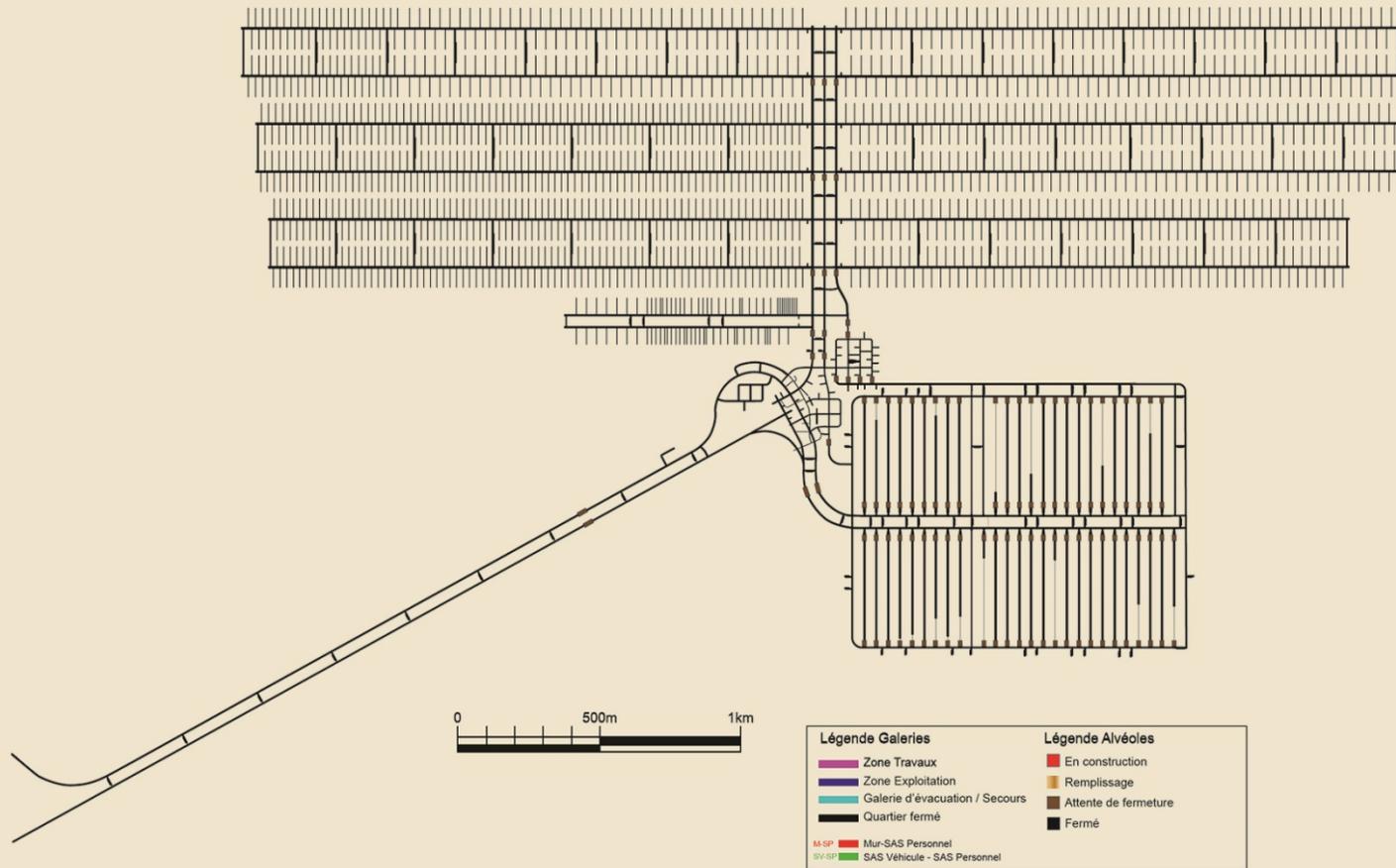
## Situation en 2145



C.IM.0EKS.15.0112.A



## Situation en 2151



C.IM.0EKS.15.0113.A



## Annexe 6 Outils de la réversibilité

OUTILS DE LA RÉVERSIBILITÉ		RÔLES POSSIBLES DANS LA RÉVERSIBILITÉ DES DÉCISIONS	EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE OPÉRATIONNELLE SUR CIGÉO
<b>Gouvernance</b>	<p><b>Amélioration continue des connaissances</b></p> <p>Ensemble organisé d'actions et de travaux visant à l'accroissement de la somme des connaissances sur les déchets radioactifs et sur leurs modes de gestion, ainsi qu'à l'utilisation de cette somme de connaissances pour l'amélioration de leur gestion</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faire apparaître des choix nouveaux en matière de gestion des déchets radioactifs différents ou complémentaires du stockage (par exemple : transmutation)</li> <li>• Améliorer la gestion des déchets sur les sites de production (par exemple : développer de nouveaux modes de conditionnement ou réduire la quantité de déchets produite)</li> <li>• Améliorer Cigéo pour une plus grande efficacité (par exemple : améliorer la performance des équipements ou la taille des ouvrages) ;</li> <li>• Réévaluer périodiquement la longévité prévisionnelle de l'installation</li> <li>• Exploiter le retour d'expérience du fonctionnement du stockage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réalisation dans l'installation Cigéo d'essais et de mesures spécifiques pendant et au-delà de la phase industrielle pilote : <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Programmes d'études spécifiques réalisés dans des démonstrateurs (alvéole ou composant)</li> <li>✓ Zone de l'installation souterraine dédiée à la réalisation d'essais</li> </ul> </li> <li>• Valorisation des données issues de la surveillance</li> <li>• Etablissement et publication périodiques des bilans des connaissances relatives à Cigéo</li> </ul>
<b>Conduite du projet</b>	<p><b>Développement incrémental et progressivité de la construction</b></p> <p>Caractère continu, régulier et prudent de l'enchaînement des opérations de réalisation de l'installation de stockage sur toute la durée de son exploitation</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intégrer à la conception de Cigéo, par phases successives, les apprentissages issus de l'amélioration continue des connaissances</li> <li>• Temporiser ou accélérer la construction de Cigéo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Phase industrielle pilote au démarrage intégrant une montée en puissance progressive de l'exploitation</li> <li>• Installations modulaires conçues pour être étendues au fur et à mesure de la mise en stockage de colis de déchets</li> <li>• Construction de tranches successives d'ouvrages souterrains intégrant des développements technologiques et des optimisations</li> <li>• Stockage des déchets HA0 (peu thermiques) dès la phase industrielle pilote pour constituer un pilote du stockage des HA1/HA2 prévu dans les tranches ultérieures</li> </ul>

OUTILS DE LA RÉVERSIBILITÉ		RÔLES POSSIBLES DANS LA RÉVERSIBILITÉ DES DÉCISIONS	EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE OPÉRATIONNELLE SUR CIGÉO
<b>Conduite du projet</b>	<p><b>Flexibilité de l'exploitation</b></p> <p>Capacité de l'installation à s'adapter à des variations du programme industriel (chronique de réception, flux de réception, date de fermeture partielle) sans modification des infrastructures ou des équipements existants et sans construction d'ouvrages nouveaux</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modifier les flux et les chroniques de réception et de mise en stockage des colis</li> <li>• Modifier les dates de fermeture partielle l'installation souterraine</li> <li>• Recevoir des déchets conditionnés par de nouveaux modes de conditionnement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponibilité d'une marge opérationnelle dans l'exploitation de Cigéo permettant d'augmenter plus ou moins durablement l'utilisation des équipements (par exemple passage d'une exploitation en 2 x 8 à une exploitation en 3 x 8 (24h/24) ou 5 x 8 (24h/24, 7j/7))</li> <li>• Conception de l'installation (dimensionnement et architecture des ouvrages souterrains, circulation des flux) permettant d'organiser les chantiers de fermeture partielle de l'installation souterraine (fermeture des alvéoles et des galeries) tôt après leur remplissage ou à des dates pouvant aller jusqu'à la fin de l'exploitation de stockage</li> <li>• Conception des conteneurs, des ouvrages et des procédés permettant de les affecter facilement à la réception des différents types de colis (par exemple la standardisation des moyens de manutention)</li> <li>• Co-stockage de colis de déchets (MA-VL)</li> <li>• Comportement robuste des conteneurs permettant de s'adapter au calendrier de fermeture retenu</li> </ul>
<b>Conduite du projet</b>	<p><b>Adaptabilité des installations</b></p> <p>Capacité à modifier l'installation pour l'adapter à de nouvelles hypothèses de dimensionnement (par exemple des évolutions d'inventaire) impliquant des modifications notables des équipements existants ou des constructions d'ouvrages nouveaux</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prendre en charge des déchets non prévus dans l'inventaire initial en lien avec l'évolution de la politique énergétique ou avec des évolutions de la gestion des déchets radioactifs</li> <li>• Modifier l'installation pour augmenter ses performances, par exemple pour augmenter les flux de réception ou de réexpédition des colis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diamètre des liaisons jour-fond compatible avec l'éventuel stockage de combustibles usés</li> <li>• Marges d'emprise conservées en surface pour la construction de bâtiments offrant des fonctions supplémentaires</li> <li>• Positionnement et dimensions du stockage dans la ZIRA (zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie) préservant des volumes de roche pour une éventuelle extension (par exemple pour la construction d'alvéoles de stockage supplémentaires)</li> </ul>

OUTILS DE LA RÉVERSIBILITÉ		RÔLES POSSIBLES DANS LA RÉVERSIBILITÉ DES DÉCISIONS	EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE OPÉRATIONNELLE SUR CIGÉO
<b>Conduite du projet</b>	<p><b>Récupérabilité</b></p> <p>Capacité à retirer des colis de déchets stockés en formation géologique profonde</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Offrir de la souplesse dans l'exploitation du stockage</li> <li>• Revenir sur le choix d'un mode de conditionnement de colis de déchets (modification du conditionnement) avant retour en stockage</li> <li>• Voire, reconsidérer le choix du stockage géologique comme mode de gestion de tout ou partie des déchets pendant l'exploitation du stockage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durabilité des colis de stockage garantissant leur capacité à être manutentionnés</li> <li>• Durabilité des ouvrages garantissant la préservation des jeux fonctionnels</li> <li>• Opérations de retrait réalisées sans préjudice pour la sûreté (par exemple : au moyen d'équipements de manutention équivalents à ceux utilisés pour la mise en place)</li> <li>• Aptitude à la déconstruction des composants de fermeture partielle (alvéole et galerie) et au rééquipement de l'installation (les remblais et les scellements pourront être démantelés). Des essais de déconstruction de ces composants seront menés dans Cigéo préalablement à l'engagement des premiers travaux de fermeture partielle.</li> </ul>
<b>Gouvernance</b>	<p><b>Transparence et transmission des informations et des connaissances</b></p> <p>Ensemble d'actions visant à rendre accessible les données relatives à l'installation, aux opérations qui y sont réalisées et les éléments ayant justifié les décisions prises pour son développement</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instruire les futures décisions sur la base d'une connaissance précise de l'installation et des éléments ayant conduit aux décisions précédentes</li> <li>• Organiser la mémoire du stockage et sa transmission</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en place d'une démarche de traçabilité des décisions antérieures et de leurs justifications</li> <li>• Maîtrise de la configuration de l'installation</li> <li>• Mise en place de modalités spécifiques d'archivage des informations des données permettant leur conservation le plus longtemps possible</li> <li>• Transmission aux parties intéressées de données relatives aux coûts, à la sécurité, aux déchets stockés et aux activités menées (construction, évolutions...)</li> <li>• Echanges réguliers avec le CLIS et/ou la CLI</li> </ul>

OUTILS DE LA RÉVERSIBILITÉ		RÔLES POSSIBLES DANS LA RÉVERSIBILITÉ DES DÉCISIONS	EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE OPÉRATIONNELLE SUR CIGÉO
<b>Gouvernance</b>	<p><b>Participation de la société, évaluation et supervision par le Parlement</b></p> <p>Ensemble de moyens, dispositifs et processus qui garantissent aux parties intéressées de contribuer aux décisions prises pour le développement du stockage</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informer les acteurs sur les enjeux liés au stockage géologique et à la gestion des déchets radioactifs</li> <li>• Légitimer les décisions prises relatives à la gestion des déchets radioactifs, y compris les conséquences socio-économiques locales et nationales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluation continue par la Commission nationale d'évaluation</li> <li>• Production d'une proposition de plan directeur d'exploitation (PDE) présentant le déroulement de référence du projet Cigéo (calendriers de construction et de fermeture de Cigéo), les objectifs de la phase industrielle pilote et les principaux enjeux de la réversibilité</li> <li>• Implication des parties intéressées à l'élaboration du Plan directeur pour l'exploitation (PDE) de Cigéo soumis à l'Etat</li> <li>• Implication des parties intéressées à l'élaboration des révisions périodiques du PDE</li> <li>• Implication des parties intéressées locales dans le développement du territoire et son suivi</li> </ul>

OUTILS DE LA RÉVERSIBILITÉ		RÔLES POSSIBLES DANS LA RÉVERSIBILITÉ DES DÉCISIONS	EXEMPLES DE MISE EN ŒUVRE OPÉRATIONNELLE SUR CIGÉO
<b>Gouvernance</b>	<p><b>Contrôle par l'ASN</b></p> <p>Ensemble d'actions visant à vérifier le respect des règles, des prescriptions, des engagements et des missions de l'exploitant du stockage</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autoriser des modes de gestion sûrs des déchets, en exploitation et à long terme</li> <li>• Informer sur les conditions de sûreté des installations</li> <li>• Evaluer l'état des connaissances relatives à la gestion des déchets radioactifs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expertise du projet par les évaluateurs techniques (IRSN, Groupes permanents d'experts...)</li> <li>• Revues périodiques de la sûreté de Cigéo (réexamens de sûreté)</li> <li>• Jalons de sûreté : grandes décisions d'extension (HA1/HA2), démonstrations de sûreté pour intégrer les optimisations et les innovations</li> <li>• Suivi en continu de l'exploitation de Cigéo (inspections)</li> <li>• Processus d'autorisation incrémental permettant de développer Cigéo et d'élargir son domaine de fonctionnement de façon progressive</li> <li>• Suivi en continu des avancées en matière de programme d'études de l'Andra sur Cigéo</li> <li>• Elaboration et suivi du cadre défini dans le décret d'autorisation de création</li> </ul>

## Annexe 7 Principales échéances décisionnelles et techniques envisagées par l'Andra pour Cigéo (sur la base des études d'APS et sous réserves d'évolutions du cadre réglementaire)

2016	Loi fixant les conditions de réversibilité (ou après la DAC, post-2018)	2043	Engagement de la 3 <sup>ème</sup> extension de la zone MAVL	2079	Mise en service du 1 <sup>er</sup> quartier HA	2121	Mise en service du 4 <sup>ème</sup> quartier HA
2016 - 2017	Concertation PDE	2045	Mise en service de la 2 <sup>nde</sup> extension de la zone MAVL	2080	5 <sup>ème</sup> réexamen de sûreté - Engagement de la dernière extension de la zone MAVL	2127	Engagement de la construction du dernier quartier HA
2018	Demande d'autorisation de création et demande de déclaration d'utilité publique	2046	Mise en service de la 2 <sup>nde</sup> extension de la zone MAVL	2087	Engagement de la construction du 2 <sup>nd</sup> quartier HA	2130	9 <sup>ème</sup> réexamen de sûreté / Mise en service du 5 <sup>ème</sup> quartier HA
2020	Enquête publique Cigéo	2050	2 <sup>ème</sup> réexamen de sûreté	2089	Mise en service de la 5 <sup>ème</sup> extension de la zone MAVL	2135	10 <sup>ème</sup> réexamen de sûreté
2021	Décret de création	2053	Mise en service de la 3 <sup>ème</sup> extension de la zone MAVL	2090	6 <sup>ème</sup> réexamen de sûreté	2138	Mise en service du dernier quartier HA
2025	Engagement de la phase industrielle pilote	2058	Engagement de la 4 <sup>ème</sup> extension de la zone MAVL	2099	Mise en service du 2 <sup>nd</sup> quartier HA	2140	11 <sup>ème</sup> réexamen de sûreté
2030	Mise en service de Cigéo (réception d'un premier colis)	2060	3 <sup>ème</sup> réexamen de sûreté	2100	7 <sup>ème</sup> réexamen de sûreté - Fermeture de la zone MAVL / Engagement de la construction du 3 <sup>ème</sup> quartier HA	2145	12 <sup>ème</sup> réexamen de sûreté / fermeture des quartiers HA
2032	Engagement de la 1 <sup>ère</sup> extension de la zone MAVL	2067	Mise en service de la 4 <sup>ème</sup> extension de la zone MAVL	2110	8 <sup>ème</sup> réexamen de sûreté - Engagement de la construction du 4 <sup>ème</sup> quartier HA	2150	Fermeture définitive
2035	Passage en exploitation courante / Mise à jour du PDE	2068	Engagement de la 5 <sup>ème</sup> extension de la zone MAVL / Engagement de la construction du premier quartier HA	2112	Mise en service du 3 <sup>ème</sup> quartier HA		
2037	Engagement de la 2 <sup>nde</sup> extension de la zone MAVL	2070	4 <sup>ème</sup> réexamen de sûreté - Fermeture du quartier HA0	2119	Engagement de la construction du 5 <sup>ème</sup> quartier HA		
2040	1 <sup>er</sup> réexamen de sûreté - Mise en service de la 1 <sup>ère</sup> extension de la zone MAVL	2077	Mise en service de la 5 <sup>ème</sup> extension de la zone MAVL	2120	8 <sup>ème</sup> réexamen de sûreté		

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 Débat public CIGEO. Projet de centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse / Haute Marne (Cigéo), 15 mai -15 décembre 2013, Compte-rendu. Commission nationale du débat public (CNDP). (2014).
- 2 Bilan du débat public, Projet de centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse / Haute-Marne (Cigéo), 15 mai - 15 décembre 2013, dressé par le Président de la Commission nationale du débat public. Commission Nationale du Débat Public (CNDP). (2014). 20 p.
- 3 Débat public CIGEO. Conférence de citoyens. Présentation de l'avis du panel de citoyens. Commission Nationale du débat public (CNDP). (2014). 36 p.
- 4 Délibération du conseil d'administration de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs du 5 mai 2014 relative aux suites à donner au débat public sur le projet CIGEO. Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (2014). Journal Officiel. Lois et décrets, n°108, pp.7851-7854.
- 5 Note de positionnement sur la réversibilité. Décembre 2015. ANDRA. (2016). Brochure n°577. Note n° DICOD/15-0247. 28 p.
- 6 Loi n° 2006-739 du 28 Juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs. (2006). Journal Officiel. Lois et Décrets, n°93, pp.9721.
- 7 Décret n°2007-1557 du 2 novembre 2007 relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives. Version consolidée au 27 février 2014. (2007).
- 8 Décret n° 93-940 du 16 juillet 1993 portant application de la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 sur la gestion des déchets radioactifs et relatif à l'autorisation d'installation et d'exploitation d'un laboratoire souterrain. Ministère de l'Industrie, des Postes et Télécommunications et du commerce extérieur (1993). Journal Officiel de la République Française du 23 Juillet 1993, n°168, pp.10379.
- 9 Loi n° 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'oeuvre privée. (2010). Journal Officiel Version consolidée au 9 décembre 2010, n°24/11/2010,
- 10 Plan de développement des composants du projet Cigéo - Déclinaison suivant l'échelle TRL (ISO 16290:2013). Andra. (2014). Plan de Déroulement, de Développement n° CGPDDADPG140031.
- 11 Décret n° 94-1159 du 26 décembre 1994 relatif à l'intégration de la sécurité et à l'organisation de la coordination en matière de sécurité et de protection de la santé lors des opérations de bâtiment ou de génie civil et modifiant le code du travail (deuxième partie: Décrets en Conseil d'Etat). (1994). Journal Officiel de la République Française, n°301, pp.18695.
- 12 Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire. (2008). Guide de l'ASN. 32 p.
- 13 Réversibilité des décisions et récupérabilité des déchets radioactifs. Éléments de réflexion pour les programmes nationaux de stockage géologique. Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire. (2012). Gestion des déchets radioactifs. n° AEN 7105. 33 p.
- 14 Arrêté du 7 février 2012 modifié fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base. Version consolidée au 05 juillet 2013. (2012).
- 15 Décret n°2013-1304 du 27 décembre 2013 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'Énergie (2013). Journal officiel de la République Française, n°304, pp.22347.
- 16 Rapport préalable au débat public sur le projet de stockage géologique profond de déchets radioactifs Cigéo. Haut Comité sur la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN). (2013). 30 p.



AGENCE NATIONALE POUR LA GESTION  
DES DÉCHETS RADIOACTIFS

1-7, rue Jean-Monnet  
92298 Châtenay-Malabry cedex

[www.andra.fr](http://www.andra.fr)