



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



Objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote - Volet technique

(Action HAMAVL.6 - Article 36 de l'arrêté
du 09.12.22 d'application du PNGMDR)

SOMMAIRE

1.	L'objet et la structuration du document	7
2.	La Phase industrielle pilote (Phipil) : son principe, son déroulement général et son périmètre	9
2.1	<i>Le principe de la Phipil</i>	9
2.2	<i>Le déroulement général de la Phipil</i>	10
2.3	<i>Le périmètre de la Phipil</i>	12
2.3.1	Les familles de colis de déchets radioactifs stockés pendant la Phipil	12
2.3.2	Les installations et ouvrages construits et exploités pendant la Phipil	13
3.	Le cadre réglementaire	18
3.1	<i>Des jalons réglementaires communs à toute INB</i>	18
3.2	<i>Des jalons propres à l'INB Cigéo</i>	18
3.2.1	Des jalons encadrés par des textes de loi	18
3.2.2	Des jalons intermédiaires entre le décret d'autorisation de création et la mise en service	19
3.3	<i>Des dossiers réglementaires associés au jalonnement de la Phipil</i>	20
4.	Les objectifs et critères de réussite techniques de la Phipil concernant la prise en main progressive du fonctionnement de l'INB Cigéo	23
4.1	<i>Contexte</i>	23
4.2	<i>Préparer les installations et ouvrages pour permettre leur exploitation</i>	25
4.2.1	Confirmer en conditions réelles les méthodes industrielles de réalisation en souterrain	25
4.2.2	Qualifier les éléments importants pour la protection (EIP) du process nucléaire	26
4.2.3	Réaliser les essais	29
4.2.4	Préparer et mettre en œuvre les opérations de réception des familles de colis	32
4.3	<i>Prendre en main progressivement l'exploitation et consolider l'organisation de l'exploitant nucléaire</i>	34
4.4	<i>Déployer progressivement la surveillance</i>	36
5.	Les objectifs et critères de réussite de la Phipil en lien avec les spécificités de l'INB Cigéo	42
5.1	<i>Cigéo, une INB avec des spécificités</i>	42
5.2	<i>Conforter le fonctionnement phénoménologique du stockage et du milieu géologique environnant</i>	43
5.2.1	Conforter le comportement des ouvrages souterrains et de la formation du Callovo-Oxfordien au regard du maintien de leurs fonctionnalités	51
5.2.2	Préparer la fermeture de l'installation souterraine	52
5.3	<i>Conforter la réversibilité de l'INB Cigéo</i>	54
5.3.1	Apporter un retour d'expérience pour le déploiement progressif	55
5.3.2	Tester la flexibilité de l'exploitation	55
5.3.3	Contrôler la réalisation des dispositions conservatoires vis-à-vis de l'adaptabilité	56
5.3.4	Réaliser des essais de récupérabilité	57
5.4	<i>Engager la constitution de la mémoire de l'INB Cigéo</i>	58
6.	Conclusion	61

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 2-1	Jalons successifs et boucles d'itérations entre acquisition de connaissances, solutions technologiques et démonstration de sûreté	10
Figure 2-2	Schéma prévisionnel illustrant le déroulement général de la Phipil	11
Figure 2-3	Vue de principe de la zone descendrière	13
Figure 2-4	Vue de principe de la zone puits	14
Figure 2-5	Illustration des ouvrages souterrains construits lors de la phase de construction initiale	15
Figure 2-6	Démonstrateurs mis en œuvre pendant la Phipil : installation souterraine	17
Figure 3-1	Illustration des étapes de jalonnement pendant la Phipil de l'INB Cigéo : étapes communes à toute INB et spécifiques à l'INB Cigéo	20
Figure 4-1	Illustration des grands principes du cheminement des colis de déchets jusqu'à leur emplacement de stockage	24
Figure 4-2	Photographies de configurations de chute d'un conteneur de stockage MA-VL en béton	27
Figure 4-3	Photographie du banc d'essais du système de freinage du funiculaire	28
Figure 4-4	Schéma illustratif d'enchaînement général des essais respectivement avant et après l'autorisation de mise en service limitée à la Phipil	31
Figure 4-5	Illustration de la localisation des alvéoles HA témoins du quartier pilote HA	39
Figure 5-1	Illustration de l'évolution de la température en paroi de colis (courbe rouge) et entre deux alvéoles (courbe verte) pour un alvéole du quartier pilote HA, depuis la mise en place du colis jusqu'à la fermeture du stockage	44
Figure 5-2	Illustration de l'évolution de la valeur de contrainte effective verticale entre deux alvéoles pour des alvéoles du quartier pilote HA, depuis la mise en place du colis jusqu'à la fermeture du stockage	45
Figure 5-3	Illustration schématique de la décharge hydraulique et de la saturation dans une galerie ventilée sur une durée d'ordre séculaire	47
Figure 5-4	Illustration de la convergence du terrain depuis le creusement de l'ouvrage jusqu'à une durée d'ordre séculaire	48
Figure 6-1	Illustration de la variabilité des jalons à la fin de la Phipil	62

Tableaux

Aucune entrée de table d'illustration n'a été trouvée.

REFERENCES

- [1] Demande d'autorisation de création de Cigéo - Lettre de suite à l'examen par le GPD du 1^{er} groupement de thématiques. ASN 2024). Courrier CODEP-DRC-2024-027947.
- [2] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 16 - Plan directeur de l'exploitation. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SDR-0000-19-0001.
- [3] Loi n°2016-1015 du 25 juillet 2016 précisant les modalités de création d'une installation de stockage réversible en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue (2016). Journal officiel de la République française.
- [4] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 7 - Version préliminaire du rapport de sûreté. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SR0-0000-21-0007.
- [5] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 3 - Carte au 1/25 000e de localisation de l'installation. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-CM0- 0000-21-000.
- [6] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo - Pièce 4 - Plan de situation au 1/10 000e indiquant le périmètre proposé. Andra (2022). Document N° CG-TE-D-NTE-AMOA-CM0-0000-21-0003.
- [7] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 20 - - Plan de développement de l'INB du centre de stockage. Andra (2022). Document N° CG-TE-D-PDD-AMOA-SDR-0000-19-0002.
- [8] Demande d'autorisation de création de Cigéo – “GP2” – Evaluation de la sûreté en exploitation -Avis IRSN n°2024-00167 du 29 novembre 2024.
- [9] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 13 - Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-PDG-AMOA-OBS-0000-19-0001.
- [10] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 19 - Version préliminaire des spécifications d'acceptation des colis. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-SPEAMOA-SR0-0000-19-0040.
- [11] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo - Pièce 9 Capacités techniques de l'exploitant. Andra (2022). Document N° CG-TE-D-NTE-AMOA-XEE-0000-19-0001.
- [12] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo - Pièce 6 - Étude d'impact du projet global Cigéo. Andra (2022). Document N° CG-TE-D-EDM-AMOA-ESE-V00S-22-0005.
- [13] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo – La stratégie de surveillance de l'INB Cigéo. Andra (2022). Document N° G-TE-D-NTE-AMOA-OBS-0000-19-0005.
- [14] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo- Pièce 22.-Glossaire et acronymes. Andra (2022).Document N° CG-TE-D-LST-AMOA-MN0-0000-19-0009
- [15] Décision n°2015-DC-0532 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 17 novembre 2015 relative au rapport de sûreté des installations nucléaires de base. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2015).
- [16] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo Pièce 2.- Nature de l'installation. Andra (2022). Document N° CG-TE-D-NTE-AMOA-XEE-0000-19-0003
- [17] Arrêté du 9 décembre 2022, pris en application du décret n° 2022-1547 du 9 décembre 2022 prévu par 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 (PNGMDR)
- [18] Arrêté du 11 janvier 2016 portant homologation de la décision n° 2015-DC-0532 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 17 novembre 2015 relative au rapport de sûreté des installations nucléaires de base
- [19] Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base

- [20] Arrêté du 28 août 2017 portant homologation de la décision n° 2017-DC-0592 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 13 juin 2017 relative aux obligations des exploitants d'installations nucléaires de base en matière de préparation et de gestion des situations d'urgence et au contenu du plan d'urgence interne.
- [21] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo (Andra 2022) -Inventaire de référence CG-TE-D-NTE-AMOA-CS0-0000-20-0002/A
- [22] Document PNGMDR- Les objectifs et principes de réussite de la gouvernance de Cigéo,(Andra 2025), Document COMRPADIC240024
- [23] Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo (Andra 2022) - Étude de maîtrise des risques CG-TE-D-ERQ-AMOA-SR0-0000-19-0037

1. L'objet et la structuration du document

La loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016 [3], codifiée à l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, pose le principe du démarrage de l'exploitation de Cigéo par une Phase Industrielle Pilote (Phipil).

Selon l'article 36 de l'arrêté du 9 décembre 2022, pris en application du décret n° 2022-1547 prévu par 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 (PNGMDR) [17], « conformément aux dispositions de l'article D. 542-90 du code de l'environnement et de l'action nommée HAMAVL.6 du PNGMDR, l'Andra propose, avant le 31 décembre 2024, les objectifs et les critères de réussite de la phase industrielle pilote et définit, en particulier, la nature des déchets qu'il est prévu de stocker pendant cette phase et les essais envisagés. Cette proposition est présentée devant la commission de gouvernance du PNGMDR, en vue de recueillir son avis en amont de la finalisation du processus réglementaire d'autorisation. Ces éléments permettront d'alimenter les éditions successives du PNGMDR ».

Au titre de l'action HAMAVL.6 « Définir les principaux objectifs, critères de réussite et points d'attention de la phase industrielle pilote de Cigéo », la 5^{ème} édition du PNGMDR 2022-2026 « n'a pas comme objet d'arrêter dans le détail les objectifs, modalités et critères de réussite de la Phipil », mais fixe néanmoins les suivants :

« 1. Permettre de conforter les données utilisées pour la conception et la démonstration de sûreté du stockage, notamment géologiques, et de procéder à la qualification des différents procédés industriels, notamment de creusement, de scellement, de construction d'alvéoles et d'exploitation. Le recours à des démonstrateurs sera privilégié autant que possible ; cet objectif sera considéré comme atteint avec la confirmation par l'ASN¹ des choix de conception retenus lors de l'instruction de la DAC* et lors de la délivrance de l'autorisation de création.

2. Permettre d'approfondir certaines pistes d'optimisations technico-économiques envisagées dans le dossier de chiffrage du projet et au regard du retour d'expérience des premières constructions. Ces éléments feront partie des enseignements à instruire dans le cadre du bilan de la PhiPil*.

3. Permettre de tester le fonctionnement de l'installation, avec une attention particulière portée aux équipements concourant à la sûreté, à la réversibilité et à la surveillance ; l'atteinte de cet objectif se traduira par le bilan qu'en tirera l'Andra* en fin de PhiPil*, fondé sur l'examen des essais et opérations de stockage menés et de leurs résultats.

4. Être un outil de déclinaison de la réversibilité et permettre de tester en grandeur réelle la capacité de récupérabilité des colis, notamment en situation dégradée. Les opérations complètes de retrait seront testées sur des maquettes de colis puis, si les essais sont concluants, sur des colis réels. Le contenu des essais et leur programmation seront construits dans un processus associant les parties prenantes, de même que les critères d'évaluation de l'atteinte de cet objectif.

5. Constituer une phase d'apprentissage de la gouvernance du projet Cigéo* (cf. Action HAMAVL.3). Cet objectif sera satisfait par la démonstration que les objectifs fixés à l'action HAMAVL.3 ont été atteints.

6. Préparer, lors de la fin de la PhiPil*, les conditions de passage à la phase d'exploitation suivante. »

La Phipil représente à la fois une phase d'apprentissage technique et une phase d'apprentissage de la gouvernance de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo.

Du point de vue technique, elle répond au triple objectif de :

- prendre en main progressivement l'exploitation de l'INB Cigéo ;
- conforter *in situ*, dans les conditions réelles d'environnement, de construction et de fonctionnement industriel de l'INB Cigéo, les données utilisées pour sa conception et pour sa démonstration de sûreté ;
- conforter la réversibilité de l'INB Cigéo².

Du point de vue de la gouvernance, le public et les parties prenantes sont associés aux décisions pendant la Phipil, qui représente ainsi une étape de mise en place, de rodage et d'acquisition de la pratique de cette gouvernance [22].

¹ Depuis janvier 2025, l'ASN est devenue l'ASNR.

² Selon l'article L.542-10-1 du code de l'environnement

Le présent rapport a pour objet de présenter les propositions de l'Andra relatives au volet technique de l'action HAMAVL.6 précitée, à savoir les principaux objectifs et critères de réussite technique.

Le point 5 de l'action HAMAVL.6 du PNGMDR fait l'objet d'un rapport dédié [22], qui présente les grands principes et objectifs que devra respecter la phase industrielle pilote, prévoit qu'elle constitue « *une phase d'apprentissage de la gouvernance du projet Cigéo [...]. Cet objectif sera satisfait par la démonstration que les objectifs fixés à l'action HAMAVL3 ont été atteints.* »

Le présent rapport s'appuie notamment sur :

- les propositions et les acquis présentés dans le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) de l'INB Cigéo, en particulier la pièce 16 relative au plan directeur d'exploitation (PDE) et la pièce 20 relative au plan de développement de l'installation de stockage (PDIS) citées respectivement en références [2] et [7] ;
- la concertation dédiée menée par l'Andra en 2024 sous l'égide de garants de la Commission nationale du débat public (CNDP) ;
- les premiers échanges de l'instruction technique du dossier de DAC, dont les engagements pris par l'Andra qui concernent ou ont un lien avec la Phipil³.

Le document est structuré comme suit :

- le **chapitre 2** rappelle le principe de la Phipil, sa logique de déroulement général et son périmètre en lien avec le plan directeur d'exploitation [2] ;
- le **chapitre 3** détaille le jalonnement et les dossiers de la Phipil qui sont prévus à ce stade, correspondant soit à des jalons règlementaires communs à toute installation nucléaire de base (INB), soit à des jalons propres à l'INB Cigéo.

Les principaux objectifs, critères de réussite techniques de la Phipil sont ensuite présentés selon le triple objectif mentionné *supra* :

- au **chapitre 4** vis-à-vis de la prise en main et de la maîtrise du fonctionnement de l'INB en réponse aux points 1 (pour ce qui concerne la qualification du procédé industriel) et 3 de l'action HAMAVL.6 du PNGMDR ;
- au **chapitre 5** vis-à-vis des spécificités de l'INB Cigéo que sont la sûreté à long terme et la réversibilité⁴ ; ils visent à répondre aux points 1 (pour ce qui concerne la confortation des données), 2 et 4 de l'action HAMAVL.6 du PNGMDR.

Le **chapitre 6** présente les conclusions en répondant au point 6 de l'action HAMAVL.6.

Pour faciliter la lisibilité, certaines notions sont précisées sous forme d'encadré bleu.

Lorsque nécessaire, un encadré intitulé « en synthèse » est également présenté à la fin d'un chapitre.

Enfin, les chapitres 4 et 5 qui proposent les objectifs et critères de réussite font l'objet d'encadrés vert présentant :

- l'objectif global proposé décliné en sous-objectifs ;
- le ou les critères de réussite proposés qui permettront de mesurer la réalisation qualitative ou quantitative de l'objectif (cela peut être une action réalisée, un livrable produit...) ;
- les moyens proposés pour atteindre l'objectif qui peuvent être des dispositions techniques ou organisations (choix d'une solution technique, programme d'actions...).

Les objectifs, les critères de réussite techniques et les moyens mis en œuvre pour atteindre ces objectifs seront précisés au cours de la Phipil pendant la phase de construction initiale, notamment pour tenir compte des résultats des travaux réalisés et de l'amélioration continue de la démonstration de sûreté.

³ Le présent rapport est établi pendant le déroulé de l'instruction technique de la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo [8], dont le troisième GPE [1] est prévu mi 2025.

⁴ Conformément à la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006, le stockage doit être conçu pour être réversible. L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement a défini cette notion en indiquant que « *la réversibilité est la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion.* »

2. La Phase industrielle pilote (Phipil) : son principe, son déroulement général et son périmètre

2.1 Le principe de la Phipil

Le plan directeur d'exploitation (PDE), pièce 16 du dossier support à la demande d'autorisation de création, de l'INB Cigéo présente en détail l'origine de la Phipil dans son chapitre 6.1 [2].

Le principe d'une Phipil, appliqué à l'INB Cigéo, a émergé au cours du débat public de 2013 en réponse à la demande du public d'une phase progressive et prudente pour la construction, les essais et le démarrage de cette installation unique compte tenu de son objet même (protéger l'homme et l'environnement de la dangerosité des déchets les plus radioactifs, en particulier de manière passive sur le long terme), de sa profondeur, de ses dimensions inhabituelles et des très longues durées pour lesquelles elle est conçue.

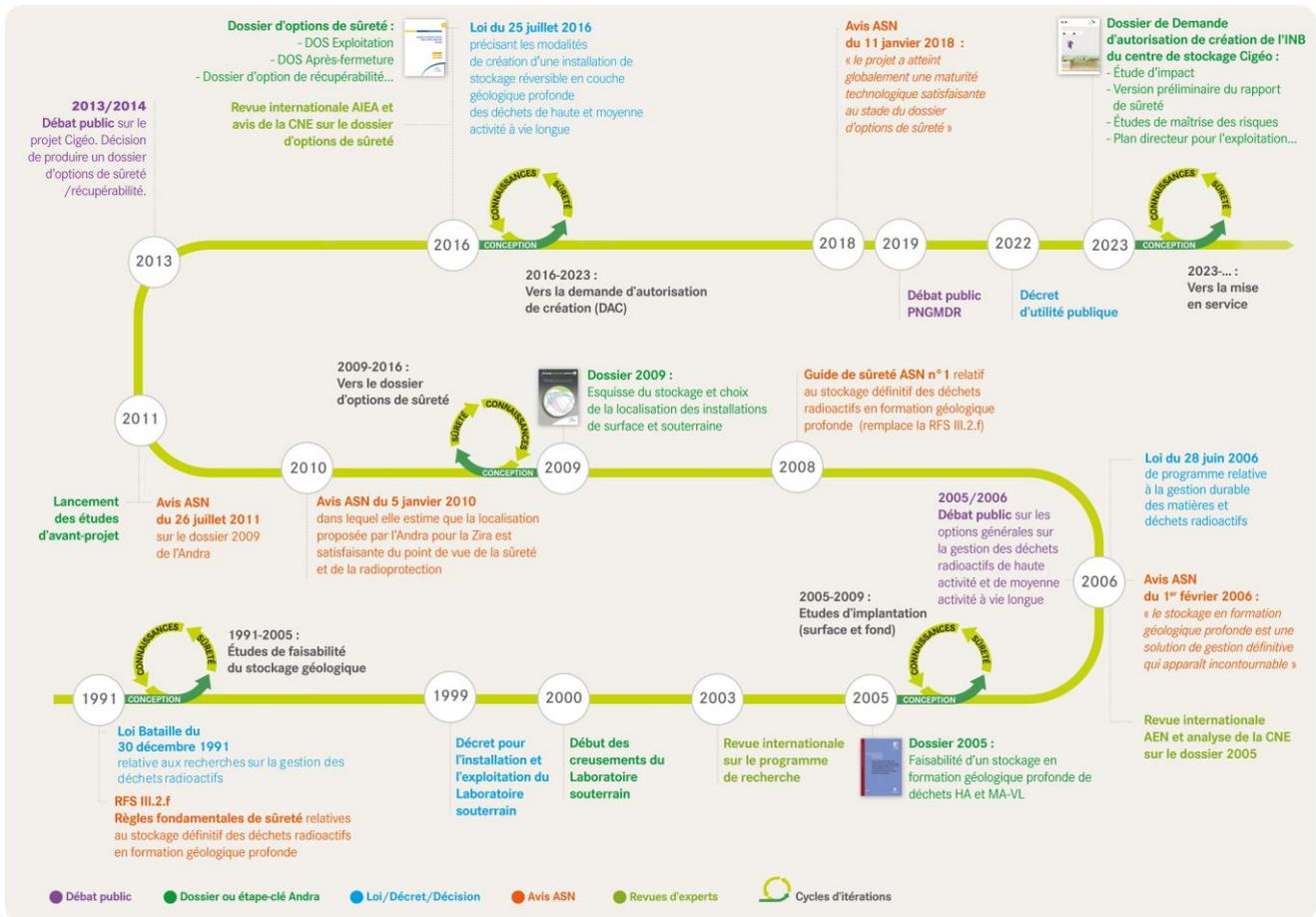
La loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016 [3], codifiée à l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, pose le principe de la Phipil qui concrétise cette démarche progressive et prudente de construction et de mise en service de l'INB.

La spécificité des premières années du déploiement et du fonctionnement de l'INB Cigéo repose aussi sur les conditions de participation des citoyens et sur le rendez-vous parlementaire prévu par l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement qui portera sur les conditions de poursuite du stockage à l'issue de la Phipil.

La Phipil représente ainsi à la fois une phase d'apprentissage technique et une phase d'apprentissage de la gouvernance de l'INB Cigéo.

De façon globale, la Phipil proposée par l'Andra repose sur un objectif de consolidation progressive et en veillant à associer le public et les parties prenantes, à partager les éléments de connaissances à apporter au Parlement en support de sa décision sur les conditions de poursuite du stockage et sur les modalités de cette poursuite si elle était décidée. Dit autrement, la Phipil vise principalement à décider de la suite à y donner et à préparer le cas échéant la poursuite de l'exploitation. Ainsi, la Phipil constitue une mise en pratique concrète du principe de réversibilité défini par le code de l'environnement comme « *la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion* » (article L. 542-10-1).

La Phipil permet l'acquisition d'un retour d'expérience en conditions réelles selon une approche progressive, via des jalons entre le décret d'autorisation de création de l'INB Cigéo et la prise de décision sur la suite à donner à l'issue de la Phipil. Ces jalons successifs s'appuient sur une boucle d'itérations entre acquisition de connaissances, développement/consolidation de solutions technologiques et démonstration de sûreté dans le même esprit que celles réalisées entre 1991 et 2023 (Figure 2-1).



CG-00-D-MCE-AMOA-SR0-0000-20-0068-F

Figure 2-1 Jalons successifs et boucles d'itérations entre acquisition de connaissances, solutions technologiques et démonstration de sûreté

2.2 Le déroulement général de la Phipil

La Phipil proposée par l'Andra repose sur l'objectif de consolider progressivement et de partager les éléments de connaissances à apporter au Parlement en support de sa décision sur les conditions de poursuite du stockage et sur les modalités à mettre en œuvre selon la décision prise. Ainsi, la Phipil vise principalement à éclairer la suite à donner et à préparer, le cas échéant, la poursuite de l'exploitation.

Selon le plan directeur d'exploitation [2], l'Andra propose que la Phipil commence à la délivrance du décret d'autorisation de création de l'INB Cigéo et un déroulement prévu en deux temps :

- une première phase dédiée à la construction initiale de l'INB Cigéo, sous réserve de l'autorisation de sa création, qui consiste principalement à la préparation du site pour accueillir les futures installations et ouvrages, aux opérations de construction de ces installations et ouvrages, à la fabrication et l'approvisionnement des équipements et leur implantation dans l'INB et à la réalisation des essais (sans colis de déchets radioactifs) ;
- une seconde phase dédiée à l'exploitation nucléaire de l'INB, sous réserve de l'autorisation de mise en service qui sera limitée à la Phipil (article L. 542-10-1), pour laquelle les premiers colis de déchets radioactifs HA et MA-VL reçus sont d'abord utilisés pour des contrôles et essais « en actif » avant que les opérations industrielles de prise en charge et de stockage de colis de déchets radioactifs se poursuivent.

L'obtention d'une autorisation de mise en service en deux temps est spécifique à l'INB Cigéo (cf. § 3.2).

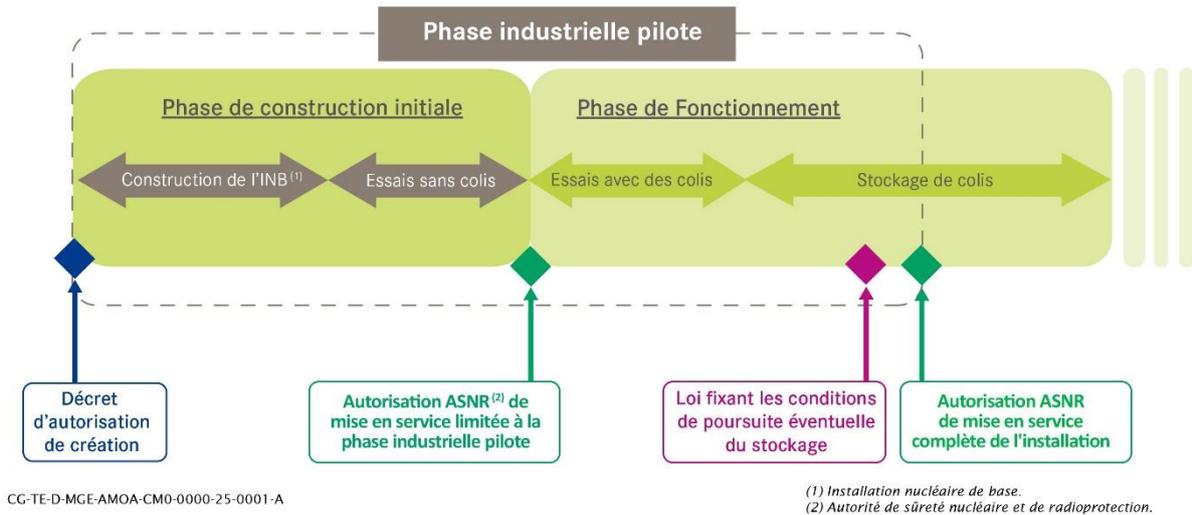


Figure 2-2 Schéma prévisionnel illustrant le déroulement général de la Phipil

La Phipil proposée par l'Andra est marquée par quatre principaux jalons décisionnels (cf. Figure 2-2) :

- l'autorisation de création de l'INB Cigéo, qui marque le début de la Phipil. Cette autorisation est délivrée par un décret du ministre chargé de la sûreté nucléaire après avis du Conseil d'État ;
- l'autorisation de mise en service limitée à la Phipil, délivrée par l'ASNR, qui autorise à recevoir des colis de déchets radioactifs sur l'INB et à les stocker ;
- la loi votée par le Parlement qui fixe les conditions de poursuite du stockage et modifie éventuellement les conditions de sa réversibilité sur la base d'un projet de loi du gouvernement ;
- l'autorisation de mise en service complète, délivrée par l'ASNR et si la poursuite du stockage est validée par le Parlement à l'issue du jalon précédent.

À chacun de ces jalons d'autorisation correspondent des dossiers qui sont instruits par les autorités dans les conditions fixées par la réglementation en vigueur.

La durée de la Phipil

- La Phipil démarre à l'obtention du décret d'autorisation de création de l'INB Cigéo. Elle couvre la phase de construction initiale et le tout début de la phase de fonctionnement (pour rappel la phase de fonctionnement est d'une durée d'ordre séculaire).
- La fin de la Phipil est conditionnée d'une part par la remise par l'Andra d'un rapport sur les résultats de la Phipil (L. 542-10-1) et d'autre part par le processus d'évaluation de ce rapport et des avis sur la suite à donner.
- La durée de la Phipil pourra varier en fonction du rythme d'avancement effectif des travaux, en particulier des travaux de creusement des ouvrages souterrains, des mises en équipement des installations et ouvrages, et des essais « en inactif » et « en actif ».
- Elle pourra également varier en fonction des demandes des autorités.

2.3 Le périmètre de la Phipil

2.3.1 Les familles de colis de déchets radioactifs stockés pendant la Phipil

Toutes les familles de colis de déchets radioactifs HA et MA-VL de l'inventaire de référence seront stockées sur toute la durée de fonctionnement, c'est-à-dire sur une durée d'ordre séculaire.

Comme indiqué dans le PDE [2], toutes les familles de colis de déchets radioactifs ne pourront pas être stockées dans les ouvrages de l'installation nucléaire construits et exploités pendant la Phipil. Les colis de déchets bitumés, par exemple, ne seront pas stockés en Phipil. Ils feront l'objet d'une procédure d'autorisation ultérieure tout comme les colis HA1/HA2 dont la puissance thermique nécessite une durée d'entreposage avant leur mise en stockage.

Les familles de colis envisagées pour la Phipil visent à mettre en œuvre les modes de stockage retenus pour le stockage des colis de déchets HA et MA-VL [21] en lien avec la démonstration de sûreté associée.

L'Andra propose que la Phipil se traduise par la livraison de familles de colis présentant une variété géométrique et physico-chimique permettant de couvrir les différents modes de stockage et, pour l'essentiel, les comportements présentés dans le volume 3 de la version préliminaire du rapport de sûreté [4] et rappelés ci-après :

- pour le stockage en alvéoles de colis de déchets HA : des colis de déchets vitrifiés mis préalablement en conteneur de stockage ;
- pour le stockage en alvéoles de colis de déchets MA-VL : des colis MA-VL de natures diverses soit en stockage direct (en panier ou non), soit en conteneur de stockage.

À ce stade, (cf. volume 3 de la version préliminaire du rapport de sûreté), sous réserve de conformité des colis au processus d'acceptation (cf. § 4.2.4), et de confirmation des besoins industriels, les familles de colis représentatives permettant de couvrir les modes de stockage retenues pour la Phipil sont :

- pour les colis de déchets HA :
 - ✓ des colis de déchets HA0⁵ ;
- pour les colis de déchets MA-VL :
 - ✓ des colis de déchets de type coque béton fibre (CBF-C'2) ;
 - ✓ des colis de déchets de type conteneurs standards de déchets compactés (CSD-C) ;
 - ✓ des colis de déchets de type coques et embouts cimentés (CEC) et conteneurs amiante ciment (CAC).

Comme indiqué dans le document présentant l'inventaire de référence [21], les natures prévisionnelles des colis reçus en Phipil sont présentées à titre indicatif. Elles sont susceptibles d'évoluer en fonction des besoins industriels, des autorisations obtenues et de la durée effective de la Phipil.

Le nombre de colis de déchets radioactifs qui seraient stockés pendant la Phipil proposé à ce stade est estimé sur la base d'une durée de fonctionnement de l'INB de cinq ans, après délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la Phipil. Cette durée est jugée suffisante pour acquérir un retour d'expérience représentatif en termes de processus d'acceptation, d'opérations de contrôle, de préparation, et de mise en stockage, ainsi que de surveillance (cf. § 2.2).

Compte tenu de cette durée de fonctionnement envisagée et selon les hypothèses de livraison des colis de déchets (au stade de la DAC : flux de livraison entre 600 et 1 400 colis stockés par an), le nombre de colis qui seraient stockés pendant la Phipil serait d'environ 6 000 colis.

La liste des familles et le nombre de colis proposés à ce stade pour la Phipil ne doivent pas être considérés comme intangibles :

- en fonction de la durée de la Phipil, de l'évolution des besoins ou d'avancées sur le conditionnement de certains déchets⁶, d'autres familles de colis pourraient le cas échéant être acceptées en Phipil, sous réserve qu'elles respectent les spécifications d'acceptation des colis de déchets radioactifs applicables à l'INB Cigéo⁷ ;

⁵ Selon le glossaire du dossier de DAC cité en référence [14], la catégorie HA0 regroupe les déchets de haute activité moyennement exothermiques à la mise en stockage.

⁶ Au stade de la DAC, le conditionnement des déchets de quelques familles reste à définir.

⁷ Au stade de la DAC, la version préliminaire des spécifications d'acceptation des colis de déchets radioactifs [10] constitue une des pièces du dossier.

- les familles et nombres de colis réceptionnés et mis en stockage durant la Phipil permettront la montée en puissance de l'exploitation et en particulier de réaliser les opérations nécessaires à l'atteinte du niveau de démonstration de la maîtrise du fonctionnement de l'installation.

2.3.2 Les installations et ouvrages construits et exploités pendant la Phipil

Les installations et ouvrages de l'INB Cigéo ([5], [6]) que l'Andra envisage de construire, de mettre en service et d'exploiter durant la Phipil sont les suivants :

- **En zone descenderie (ZD)**, les installations et ouvrages sont dédiés à la réception, au contrôle et à la préparation des colis de déchets radioactifs avant leur transfert dans l'installation souterraine. Cela comprend également les installations de surface en soutien au fonctionnement. L'INB en zone descenderie comprend les zones suivantes (cf. Figure 2-3) :
 - ✓ la zone « terminal ferroviaire nucléaire » dédiée à la réception des convois de colis de déchets radioactifs ;
 - ✓ la zone « bâtiment nucléaire » comprenant le bâtiment nucléaire de surface dit « EP1 », la tête de descenderie colis et l'ouvrage de liaison entre les deux ;
 - ✓ la « zone exploitation » comprenant des ouvrages support à l'exploitation de l'INB, dont :
 - la tête de descenderie de service ;
 - les ateliers et magasins support ;
 - les ouvrages liés à la gestion des eaux et effluents ;
 - les ouvrages de protection du site.



Figure 2-3 Vue de principe de la zone descenderie

- **En zone puits (ZP)**, les installations et ouvrages sont dédiés au soutien des activités souterraines et en particulier des travaux de creusement de la phase de construction initiale. La zone puits est divisée entre deux parties distinctes pour séparer physiquement les activités menées en support aux activités souterraines d'exploitation et les activités menées en support aux activités souterraines de travaux (cf. Figure 2-4). Cela comprend respectivement :
 - ✓ les émergences des deux puits reliés à la zone de soutien logistique exploitation (ZSLE) souterraine et équipements associés pour leur fonctionnement (machineries, usines de ventilation⁸) ;
 - ✓ les émergences des trois puits reliés à la zone de soutien logistique travaux (ZSLT) souterraine et équipements associés pour leur fonctionnement (machineries et les usines de ventilation ;
 - ✓ une zone de gestion des déblais du Callovo-Oxfordien excavé⁹ ;
 - ✓ des ouvrages de gestion des eaux et effluents.

⁸ Les puits sont équipés d'un émissaire (cheminée) permettant de canaliser et de contrôler l'air extrait par leur ventilation.

⁹ Une part de ces déblais est conservée sous forme de versés en vue de leur réutilisation pour la fermeture des ouvrages souterrains à l'issue du fonctionnement de l'INB Cigéo.



Figure 2-4 Vue de principe de la zone puits

Concernant l'installation souterraine, les ouvrages sont destinés d'une part au transfert des colis de déchets radioactifs de la surface vers leur alvéole de stockage et d'autre part aux soutiens logistiques :

- les deux descenderies, respectivement de colis de déchets radioactifs et de service, ainsi que les cinq puits ;
- le quartier pilote HA ;
- la « boucle MA-VL » et les quatre premiers alvéoles de stockage du quartier de stockage MA-VL ;
- la zone de soutien logistique travaux (ZSLT) supportant les activités de travaux. Elle est reliée à la zone puits en surface par trois puits ;
- la zone de soutien logistique d'exploitation (ZSLE) supportant les activités de stockage.

Dans le quartier pilote HA sont stockés des colis de déchets vitrifiés « modérément exothermiques » appelés « HA0 ». Situé au nord de la zone de soutien logistique exploitation, il est composé de plusieurs types d'ouvrages, répondant aux besoins de l'activité de stockage à savoir :

- des galeries de liaison, une galerie d'évacuation et de secours ;
- une galerie d'accès aux alvéoles ;
- des alvéoles de stockage des colis HA0 (à ce stade, le quartier pilote HA comporte jusqu'à une vingtaine d'alvéoles de stockage) ;
- un démonstrateur (voir plus loin dans le présent chapitre).

La boucle MA-VL réalisée pendant la Phipil permet une reconnaissance géologique de l'ensemble de la zone où seront construits les alvéoles MA-VL de l'inventaire de référence (cf. Chapitre 5).

La figure 2-5 illustre les ouvrages souterrains construits pendant la Phipil.

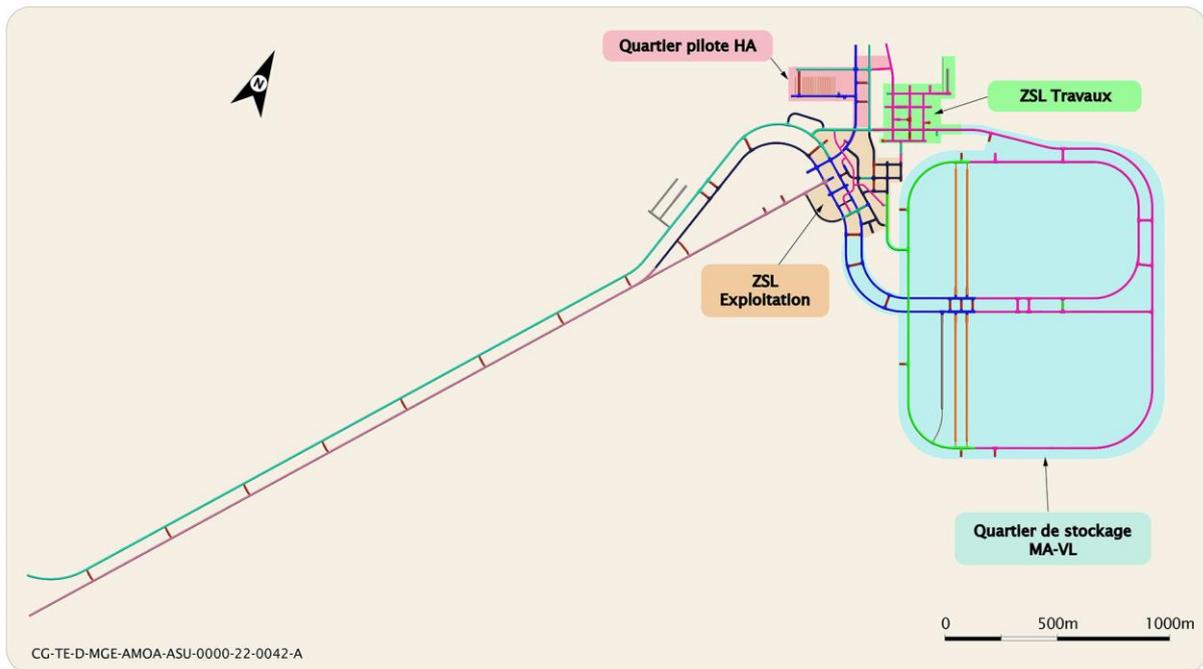


Figure 2-5 *Illustration des ouvrages souterrains construits lors de la phase de construction initiale*

Ces ouvrages et installations constituent les premières infrastructures structurantes¹⁰ (avec leurs équipements et les process associés) en surface et en souterrain en vue de la mise en stockage de colis de déchets HA et MA-VL.

Des démonstrateurs sont également mis en œuvre pendant la Phipil, en particulier pour les ouvrages souterrains compte tenu de la spécificité de l'INB Cigéo.

Démonstrateur

Ouvrage inactif (sans colis) permettant de tester des méthodes de réalisation, des opérations d'exploitation, des optimisations et de mesurer des comportements phénoménologiques spécifiques.

Les démonstrateurs pendant la Phipil ont pour objectifs :

- de qualifier les performances des procédés industriels de creusement en vraie grandeur et dans les conditions de mise en œuvre réelle de l'installation souterraine ;
- de conforter *in situ* les modalités de conception et de construction au regard des caractéristiques du milieu géologique dans la zone d'implantation réelle de l'installation souterraine ;
- d'éprouver la qualité des ouvrages réalisés en vraie grandeur (galeries et alvéoles de taille supérieure à ceux qui peuvent être réalisés en préalable au Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne¹¹).

Les démonstrateurs suivants sont envisagés :

- un démonstrateur d'alvéole MA-VL localisé dans le quartier de stockage MA-VL dans un objectif de :
 - ✓ conforter la démonstration de la constructibilité d'un alvéole MA-VL *in situ* et dans des conditions industrielles de l'INB Cigéo ;
 - ✓ confirmer que les conditions de sécurité du chantier souterrain sont satisfaisantes.

¹⁰ La pièce 2 « Nature de l'installation » du dossier de DAC [16] fournit une description à la fois synthétique et globale de l'INB Cigéo.

¹¹ Dans la suite du document, il est mentionné Laboratoire souterrain.

En tant que démonstrateur de constructibilité, le démonstrateur d'alvéole MA-VL :

- ✓ est représentatif des alvéoles de stockage des déchets MA-VL au regard de la construction de leur génie civil (orientation, géométrie, méthode de creusement, etc.) ;
- ✓ n'est pas équipé des équipements de process complets, notamment des moyens de manutention des colis. Les essais de démarrage, notamment liés à la mise en place des colis, le fonctionnement industriel et la récupérabilité seront menés dans les quatre alvéoles MA-VL ;
- un démonstrateur d'alvéole HA réalisé dans la zone de soutien logistique (ZSL) dans un objectif de :
 - ✓ confirmer que les conditions de sécurité du chantier souterrain sont satisfaisantes ;
 - ✓ contrôler les performances des procédés industriels de creusement en vraie grandeur et dans les conditions de mise en œuvre réelle de l'installation souterraine ;
- un démonstrateur d'alvéole HA fermé (en situation d'après fermeture) localisé en fond du quartier pilote HA dans un objectif de :
 - ✓ de conforter les dispositifs de surveillance de l'environnement dans un alvéole HA en situation d'après fermeture ;
 - ✓ de conforter les éléments sur la compréhension de son comportement ;
- des démonstrateurs de scellements : ils visent à préparer la fermeture définitive de l'installation souterraine, compte tenu de l'importance des scellements vis-à-vis des fonctions de sûreté après fermeture. Cela comprend :
 - ✓ un démonstrateur de scellement de descenderie, localisé dans la descenderie de service au niveau de l'unité silto-carbonaté de la formation hôte du Callovo-Oxfordien (partie haute). Ce démonstrateur est accompagné d'un bout de galerie pentée et qui lui est parallèle afin de permettre son observation/surveillance ;
 - ✓ un démonstrateur de scellement de galerie, dénommé également « scellement de fond », localisé dans une zone dédiée de la zone de soutien logistique travaux.

Des dispositifs de mesure ou de caractérisation (et les méthodes/protocoles afférents) pour vérifier le comportement des ouvrages ont été testés et continueront d'être testés dans différentes expérimentations menées notamment dans le Laboratoire souterrain.

Les dispositifs mis en place dans les démonstrateurs s'appuieront sur ces acquis. Les grandeurs mesurées dans les démonstrateurs permettant de caractériser leur comportement, seront comparées avec le domaine de fonctionnement/comportement prévu et mises en perspective avec les résultats des simulations prédictives réalisées en amont.

La figure 2-6 ci-après présente une illustration de l'implantation de ces démonstrateurs.

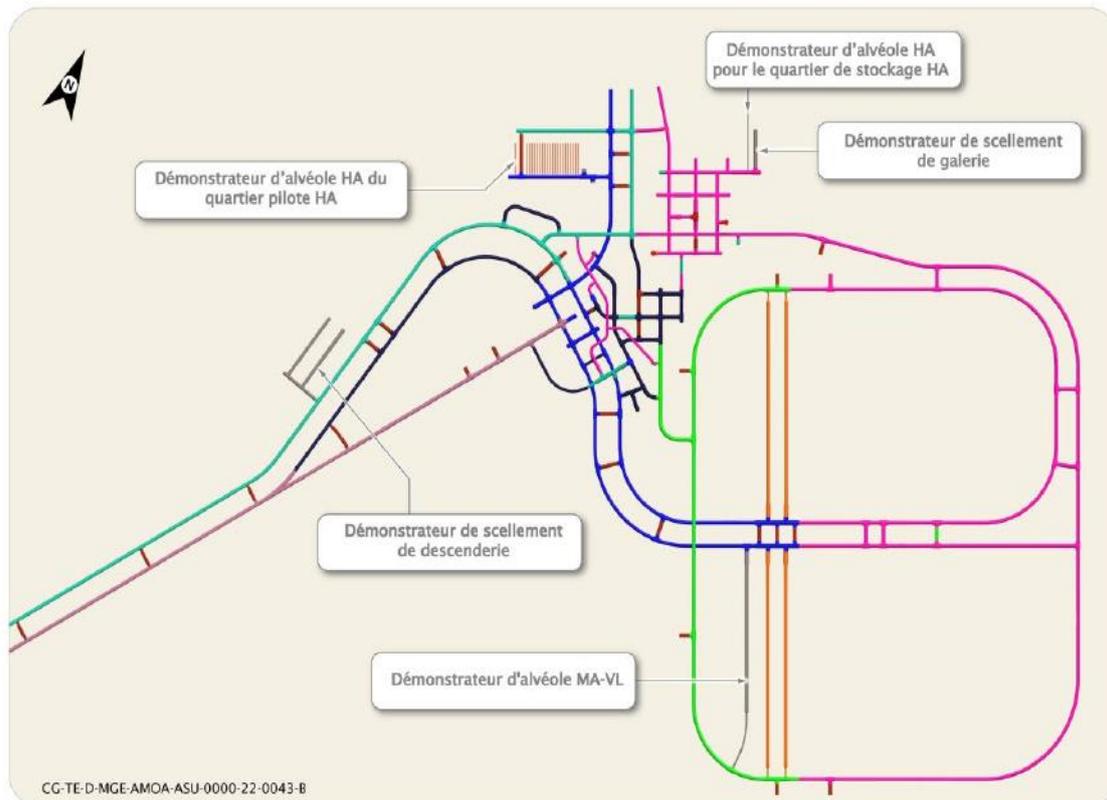


Figure 2-6 Démonstrateurs mis en œuvre pendant la Phipil : installation souterraine

En synthèse

Toutes les infrastructures suivantes nécessaires à l'exploitation de l'INB Cigéo seront construites pendant la Phipil. Elles permettent d'envisager une continuité du déploiement progressif de l'INB et de son exploitation, dans l'hypothèse où le Parlement décide de poursuivre le stockage :

- les ouvrages et installations de surface, dont le bâtiment nucléaire de surface pour la réception/contrôle des colis de déchets et leur préparation en vue leur transfert vers le souterrain ;
- l'ensemble des liaisons surface-fond, qui permettent le transfert de tous les colis de la surface vers les ouvrages de stockage ;
- les deux zones de soutien logistique en souterrain ;
- la boucle du quartier de stockage MA-VL qui facilite la construction des alvéoles ultérieures.

Le retour d'expérience des opérations de construction et du fonctionnement pendant la Phipil du quartier pilote HA et des premiers alvéoles MA-VL visent à préparer progressivement la réalisation ultérieure des ouvrages souterrains du quartier de stockage HA et du quartier de stockage MA-VL.

Les démonstrateurs mis en place également pendant la Phipil permettront de conforter les données acquises notamment au Laboratoire souterrain.

En tenant compte du retour d'expérience acquis de la Phipil lors de la réalisation des ouvrages, l'Andra n'exclut pas la possibilité de construire des alvéoles MA-VL supplémentaires pendant la Phipil, sous réserve d'autorisation. Cette possibilité est facilitée par la conception de l'architecture souterraine de l'INB Cigéo qui sépare physiquement la zone exploitation et la zone travaux, dans un objectif de maîtrise des risques de coactivité pour le déploiement progressif des ouvrages souterrains.

3. Le cadre réglementaire

Le déroulement de la Phipil (qui démarrerait à la délivrance du décret comme indiqué *supra*) est ponctué de jalons réglementaires et décisionnels, dont une partie est commune à toute INB (*cf.* notamment les articles L. 593-7 à -11 et L. 593-18 et -19 du code de l'environnement et leurs textes d'application) et une autre partie est propre à l'INB Cigéo (*cf.* article L. 542-10-1 du même code). Ces jalons sont listés ci-après (respectivement aux § 3.1 et § 3.2). En complément, dans la continuité du processus d'interactions entre l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) et l'Andra, des rendez-vous intermédiaires pourraient être également envisagés (§ 3.2.2).

3.1 Des jalons réglementaires communs à toute INB

Les jalons réglementaires communs à toute INB sont listés ci-après.

Le décret d'autorisation de création de l'INB¹² Cigéo fixe notamment (articles L. 593-8, R. 593-26 et -27) :

- le délai de mise en service de l'installation ;
- le cas échéant, subordonne à un accord du ministre chargé de la sûreté nucléaire ou de l'ASNR la réalisation de certaines opérations particulières en considération de leur impact sur les intérêts mentionnés à l'article L. 593-1.

La demande d'autorisation de mise en service est soumise à l'ASNR et son instruction est encadrée par les exigences des articles R. 593-29 à R. 593-37.

La décision d'autorisation de mise en service de l'ASNR (articles L. 593-11 et R. 593-33) peut définir des étapes intermédiaires dans la réalisation du démarrage et subordonner la réalisation de ces étapes à la fourniture par l'exploitant d'informations à l'autorité ou à l'accord de l'autorité¹³.

Le dossier de fin de démarrage est soumis à l'ASNR (article R. 593-34). Il est présenté dans le délai fixé par l'autorisation de mise en service.

3.2 Des jalons propres à l'INB Cigéo

3.2.1 Des jalons encadrés par des textes de loi

Selon l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, « des revues de la mise en œuvre du principe de réversibilité dans un stockage en couche géologique profonde sont organisées au moins tous les cinq ans, en cohérence avec les réexamens périodiques prévus à l'article [L. 593-18](#) ».

Afin d'assurer la bonne information et l'association des citoyens tout au long de la vie de l'INB Cigéo, l'Andra élabore et met à jour, tous les cinq ans, en concertation avec l'ensemble des parties prenantes et le public, **le plan directeur de l'exploitation (PDE)**.

Selon l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, **la mise en service est limitée à la Phipil**.

La **remise d'un rapport sur les résultats de la Phipil** (L. 542-10-1) par l'Andra fera l'objet de plusieurs avis ou évaluations :

- avis de l'ASNR ;
- avis des collectivités territoriales situées en tout ou partie dans une zone de consultation définie par décret ;
- avis de la Commission nationale d'évaluation (CNE) ;
- évaluation de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST).

Le Gouvernement présentera ensuite **un projet de loi adaptant les conditions d'exercice de la réversibilité du stockage** et prenant en compte, le cas échéant, les recommandations de l'OPECST. Cette loi fixera les conditions de poursuite du stockage.

¹² Le décret d'autorisation de création d'une INB est complété par des prescriptions techniques définies par l'ASNR et que celle-ci estime nécessaires à la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 (articles L. 593-10 et R. 593-38). Ces prescriptions :

- sont relatives à la conception, à la construction et à l'exploitation de l'installation ;
- peuvent notamment porter sur des moyens de suivi, de surveillance, d'analyse et de mesure ;
- sont délivrées après l'obtention du décret d'autorisation de création.

¹³ Voir par exemple le cas de la mise en service du réacteur EPR de Flamanville (<https://www.asn.fr/Media/Files/principales-etapes-suivant-la-mise-en-service-du-reacteur-epr-de-flamanville-inb-167>).

À l'issue de ces consultations et de la promulgation de la loi, si le Parlement décide de la poursuite du projet, l'ASNR délivrera **l'autorisation de mise en service complète de l'installation** : « *cette autorisation ne [pourra] être délivrée à un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs ne garantissant pas la réversibilité de ce centre dans les conditions prévues par la loi* » (cf. le 19^{ème} alinéa de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement).

Les revues de réversibilité

L'organisation de « *revues de la mise en œuvre du principe de réversibilité* » est prévue de façon périodique « *au moins tous les cinq ans* » (article L. 542-10-1).

L'Andra propose :

- au début de la phase de construction initiale, que l'objectif de la première revue de réversibilité soit d'établir, en associant le public et les parties prenantes, un état des lieux initial sur la réversibilité. Cette première revue permettrait de présenter l'ensemble des enjeux et notamment les éventuelles prescriptions du décret d'autorisation de création en matière de réversibilité, ainsi que les demandes des autorités formulées pendant l'instruction du dossier de DAC. L'Andra produira un dossier support à cette revue ;
- qu'une revue de réversibilité soit organisée après quelques années de stockage de colis de déchets radioactifs, afin d'intégrer le retour d'expérience industriel en matière de fonctionnement et de comportement de l'installation. Les conclusions de cette revue de réversibilité pourraient être versées au rapport de synthèse de la Phipil à destination du Parlement.

Pour rappel, après la mise en service complète, les exercices périodiques de revues de réversibilité constitueront des opportunités complémentaires et de suivi de la mise en œuvre de la réversibilité.

Une concertation dédiée sera menée en 2025 afin de nourrir cette proposition relative au déroulement et aux objectifs des revues de réversibilité [22].

3.2.2 Des jalons intermédiaires entre le décret d'autorisation de création et la mise en service

Au-delà des jalons précités aux § 3.1 et 3.2.1, des jalons intermédiaires entre le décret d'autorisation de création et la mise en service pourront également cadencer l'avancement de la construction initiale et de la préparation de la mise en service de l'INB Cigéo.

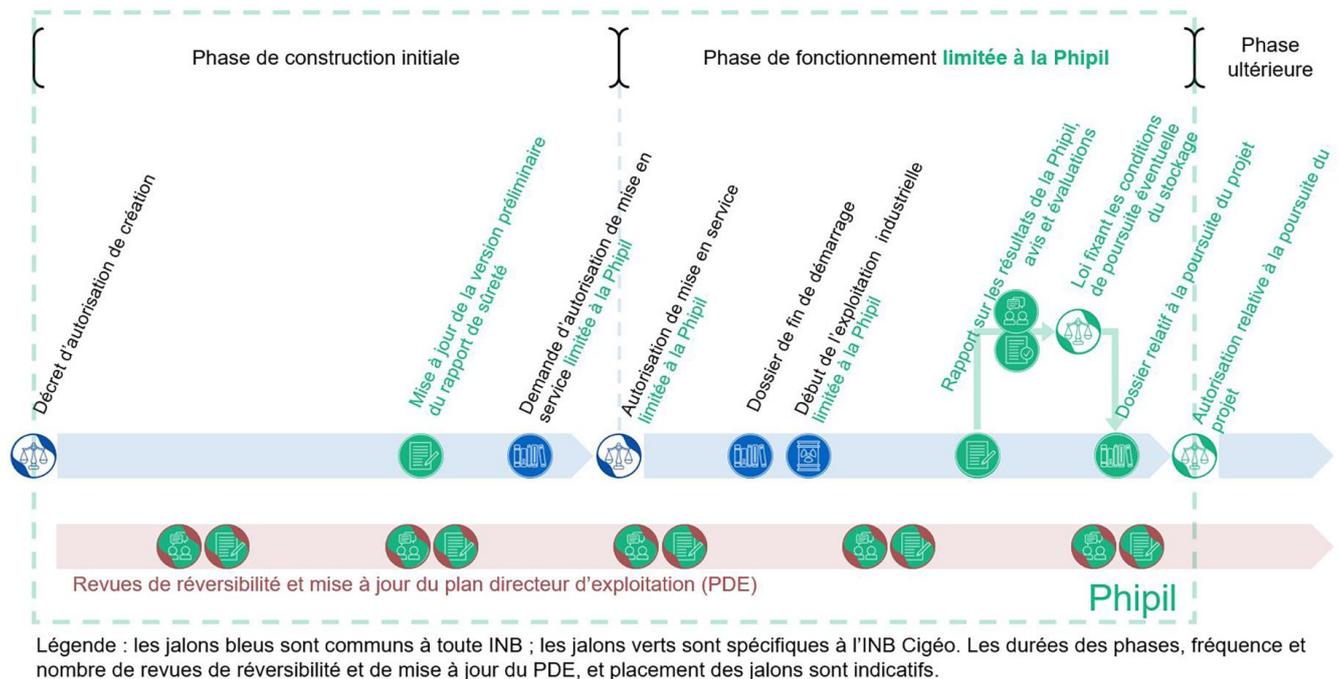
Des jalons peuvent en effet être fixés par le décret d'autorisation de création (voir *supra*) ou demandés par l'ASNR, par exemple dans ses décisions établissant les prescriptions techniques. Ces jalons pourront être ajustés ou complétés selon l'avancement de la construction et des éventuelles demandes de compléments qui pourraient intervenir lors d'une instruction ou d'une inspection.

Les jalons intermédiaires ne peuvent pas tous être identifiés à l'avance. Par ailleurs, comme cela a été fait dans le cadre des étapes antérieures de développement du projet Cigéo, des engagements sont pris par l'Andra notamment dans le cadre de l'instruction du dossier de DAC. Ceux-ci feront l'objet d'un suivi par l'ASNR notamment pendant la phase de construction initiale. Lors de la demande de mise en service, comme pour toute INB, l'Andra présentera les résultats des actions menées pendant la construction et ayant fait l'objet d'engagements en vue de la mise en service.

À ce stade, à titre illustratif, l'instruction technique du dossier de DAC en cours a identifié les jalons intermédiaires suivants :

- un jalon concernant la révision de la version préliminaire du rapport de sûreté [4] au plus tard 10 ans après la délivrance du décret d'autorisation de création, intégrant le retour d'expérience des études notamment de sûreté et des constructions réalisées jusque-là et les résultats des actions pour lesquelles l'Andra s'est engagée ;
- des compléments à apporter avant le creusement notamment sur la démonstration de la sûreté en exploitation du stockage des déchets bitumés, de la fermeture des alvéoles MA-VL et de l'exploitation des alvéoles HA.

En synthèse, le schéma ci-après illustre les différentes étapes de jalonnement pendant la Phipil en distinguant celles communes à toute INB (en noir) et celle propres à la Phipil (en vert).



CG-TE-D-MGE-AMOA-CM0-0000-25-0005-A

Figure 3-1 Illustration des étapes de jalonnement pendant la Phipil de l'INB Cigéo : étapes communes à toute INB et spécifiques à l'INB Cigéo

3.3 Des dossiers réglementaires associés au jalonnement de la Phipil

La réglementation fixe les attendus des dossiers à produire pour l'obtention d'autorisations ou l'accomplissement d'étapes de développement d'un projet d'INB en général, ou de l'INB Cigéo en particulier.

À ce stade, au regard de la réglementation et de l'instruction en cours du dossier d'autorisation de création de l'INB Cigéo, sont prévus les dossiers structurants suivants produits par l'Andra en tant qu'exploitant¹⁴, pendant la Phipil, en lien avec le jalonnement présenté *supra* :

- le dossier de préparation de revue de réversibilité (propre à l'INB Cigéo) ;
- la mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté pendant la phase de construction initiale (propre à l'INB Cigéo¹⁵) ;
- le dossier de demande d'autorisation de mise en service (commun à toute INB de stockage) ;
- le dossier de fin de démarrage (commun à toute INB) ;
- le rapport de synthèse de la Phipil (propre à l'INB Cigéo) ;
- le dossier de préparation de l'autorisation suivante, quelle qu'en soit la nature (propre à l'INB Cigéo).

Le dossier de préparation d'une revue de réversibilité

L'Andra fera une proposition sur la structuration et le contenu ultérieurement, notamment sur la base des éléments apportés par la concertation qui sera conduite en 2025.

¹⁴ Il n'est pas possible de déterminer à ce stade l'ensemble des rapports techniques, des rapports d'avancement et d'essais qui seront produits par l'Andra pendant la Phipil.

¹⁵ C'est également le cas d'ITER

La mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté

Elle intégrera notamment les résultats des actions (études, conception/réalisation, sûreté...) menées depuis la version initiale dont notamment celles auxquelles l'Andra s'est engagée pendant l'instruction technique du dossier de DAC.

Le dossier de demande d'autorisation de mise en service

Le dossier de demande d'autorisation de mise en service envisagé à ce stade contiendra les pièces suivantes selon le code de l'environnement applicable à toute INB de stockage :

- un rapport de sûreté (RDS) qui correspond à la mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté sur la base de l'installation « telle que construite » (pour rappel, pour les installations de stockage, le rapport couvre les phases de fonctionnement et de long terme après fermeture)¹⁶ ;
- des règles générales d'exploitation (RGE) ;
- un plan d'urgence interne (PUI) ;
- les éléments permettant d'apprécier la conformité de l'installation aux prescriptions prises par l'ASNR, notamment en lien avec les mesures prévues dans l'étude d'impact ;
- une mise à jour, si elle est nécessaire, de l'étude d'impact ;
- une mise à jour de l'étude de maîtrise des risques ;
- les éléments de justification de la maîtrise foncière des terrains d'implantation ;
- une mise à jour du plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance (PDFS) notamment sur les options techniques retenues pour la fermeture du stockage en regard des avancées de connaissance et du retour d'expérience de la construction des démonstrateurs de scellement.

Le dossier de fin de démarrage

Il comprend :

- un rapport de synthèse sur les essais de démarrage de l'installation ;
- un bilan de l'expérience d'exploitation acquise, au regard de la protection des intérêts mentionnés à l'article L. 593-1 ;
- une mise à jour des documents présentés en support à la demande d'autorisation de mise en service. Notamment, conformément à l'article 6-2 de l'annexe à la « décision no 2015-DC-0532 de l'ASN du 17 novembre 2015 relative au rapport de sûreté des INB » [18], le rapport de sûreté de l'INB Cigéo mis à jour à l'occasion de la présentation du dossier de fin de démarrage de l'INB prendra en compte les résultats des essais de démarrage.

Les essais de démarrage

- Selon l'article 1^{er}-7 de la décision no 2015-DC-0532 du 17 novembre 2015 [18], « les essais de démarrage sont « *les essais réalisés sur des EIP, après leur montage sur l'INB. Leur rôle est de vérifier, en tenant compte des essais effectués préalablement à leur mise en place, la capacité de ces EIP à assurer les fonctions que leur alloue la démonstration mentionnée au deuxième alinéa de l'article L. 593-7 du code de l'environnement.* »

Le rapport de synthèse de la Phipil

Pour ce qui concerne le rapport de synthèse de la Phipil pour le Parlement, l'Andra prévoit de produire des bilans d'analyses dédiés aux sujets techniques suivants [2] :

- données géologiques acquises *in situ* ;
- qualité des ouvrages industriels souterrains ;
- sûreté nucléaire ;
- sécurité (sécurité du travail, accidentologie...) ;

¹⁶ Le rapport de sûreté s'appuiera notamment sur le retour d'expérience de la phase de construction initiale et répondra aux engagements pris par l'Andra en vue de la mise en service dans le cadre de l'instruction du dossier de DAC. A titre illustratif, conformément à l'engagement pris, le rapport de sûreté présentera une version consolidée de la démonstration en matière de maîtrise des risques liés à l'incendie et à l'explosion sur la base des acquis pendant la construction initiale.

- réversibilité ;
- surveillance environnementale ;
- opérations industrielles de stockage ;
- faisabilité des ouvrages de fermeture.

Ces sujets donneront lieu le cas échéant, à différents rapports ou livrables produits au cours de la Phipil en lien avec l'avancement de la réalisation de l'INB Cigéo, de la recherche scientifique et technologique ainsi que suite à demandes de l'ASNR, ou de nouveaux engagements pris par l'Andra lors de l'instruction de compléments d'informations soumis pendant la Phipil, notamment lors de l'instruction de la mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté, ou de la demande d'autorisation de mise en service.

Le rapport présentant les résultats de la Phipil s'appuiera d'un point de vue technique sur ces éléments acquis au fur et à mesure du déroulement de la construction initiale, puis lors du fonctionnement, en particulier le retour d'expérience confortant la prise en main de l'exploitation nucléaire.

D'autres thématiques non techniques feront l'objet de bilans (cf. chapitre 6 de la référence [2]) :

- évaluation de l'impact socio-économique du centre de stockage Cigéo sur le territoire ;
- bilan et perspectives d'impact du fonctionnement de l'INB Cigéo sur les installations de la filière nucléaire ;
- coûts et perspectives économiques du centre de stockage Cigéo ;
- bilan et perspectives des projets de stockage à l'international ;
- bilan des développements techniques en matière de gestion des déchets (stockage et alternatives) ;
- bilan des actions de préservation de la mémoire du stockage.

À cela s'ajoutent les mises à jour du plan directeur de l'exploitation (PDE) pour lesquelles le public est associé conformément aux exigences du code de l'environnement (article L. 542-10-1).

Le dossier de préparation de l'autorisation suivante, quelle qu'en soit la nature

La structuration et le contenu de ce dossier ne sont pas définis à ce stade. Ils dépendront de la loi promulguée fixant les conditions de poursuite du stockage.

- Si, sur la base des enseignements acquis pendant la Phipil, la décision du Parlement est de poursuivre le déploiement de l'INB Cigéo, l'Andra préparera un dossier de demande de mise en service de la poursuite de l'exploitation tenant compte des nouvelles orientations fixées par la loi. L'Andra transmettra aux autorités, pour instruction, les éléments requis par la réglementation en vigueur. L'autorisation de mise en service complète sera délivrée par l'ASNR dans les conditions fixées par le Parlement.
- Si la décision du Parlement est de renoncer au stockage, pour tout ou partie des déchets HA et MA-VL, alors la nouvelle étape engagée pourra être le retrait total ou partiel de colis de déchets radioactifs, le démantèlement et la fermeture partiels ou définitif. Les dossiers support aux demandes afférentes seront établis conformément à la réglementation en vigueur

4. Les objectifs et critères de réussite techniques de la Phipil concernant la prise en main progressive du fonctionnement de l'INB Cigéo

4.1 Contexte

Au dépôt du dossier de DAC, l'Andra est devenue l'exploitant de l'INB Cigéo au sens réglementaire du terme.

En phase de construction initiale, l'Andra, en tant qu'exploitant, réalise les ouvrages et les équipements. La préparation de la mise en service est primordiale afin d'identifier et d'anticiper au plus tôt les enjeux et besoins liés à la future exploitation nucléaire de l'INB. Pendant cette phase, l'Andra va prendre en main progressivement l'INB c'est-à-dire [11] :

- préparer le site pour accueillir les futures installations et ouvrages ;
- piloter la construction initiale de l'installation ainsi que la fabrication et l'approvisionnement des équipements chez les fournisseurs, correspondant à la réalisation installations et ouvrages (cf. chapitre 2.3.2) ;
- implanter sur site, puis tester en inactif, les divers structures, systèmes et équipements ;
- assurer la protection des intérêts pour l'ensemble des activités réalisées.

L'Andra en tant qu'exploitant de l'INB Cigéo est responsable de l'exploitabilité et de la maintenabilité de l'installation ainsi que la sécurisation de ses performances. Avec cet objectif, la fonction « exploitation » se prépare à ses futures missions opérationnelles en étant impliquée dans le suivi de l'élaboration des contrats d'équipement, des études associées à la conception des structures, systèmes, composant (SSC), le suivi des étapes de fabrication et de construction des SSC (y compris leur montage sur site), ainsi que la préparation et la réalisation des essais.

Une fois les installations construites et équipées pendant la phase de construction initiale, et la mise en service promulguée, l'INB Cigéo rentrera dans sa phase de fonctionnement « nucléaire ».

L'autorisation de mise en service (cf. § 2.2), délivrée par l'ASNR, permet la mise en œuvre des opérations nucléaires propres à l'INB selon notamment les règles générales d'exploitation qui seront établies par l'Andra.

Une fois cette mise en service qui sera limitée à la Phipil autorisée, la phase de fonctionnement démarre par une première période avec les premiers colis de déchets radioactifs. Cette première période permet de finaliser les essais de démarrage en actif de l'installation conformément à la réglementation applicable aux INB (cf. § 3.1), en y menant concrètement les premières opérations nucléaires. Les activités nucléaires de l'INB Cigéo sont principalement des opérations de manutention et de contrôle de colis de déchets radioactifs [4]. Les opérations de la réception à la mise en stockage des colis au sein de l'INB sont présentées de façon synthétique sur la figure ci-après.

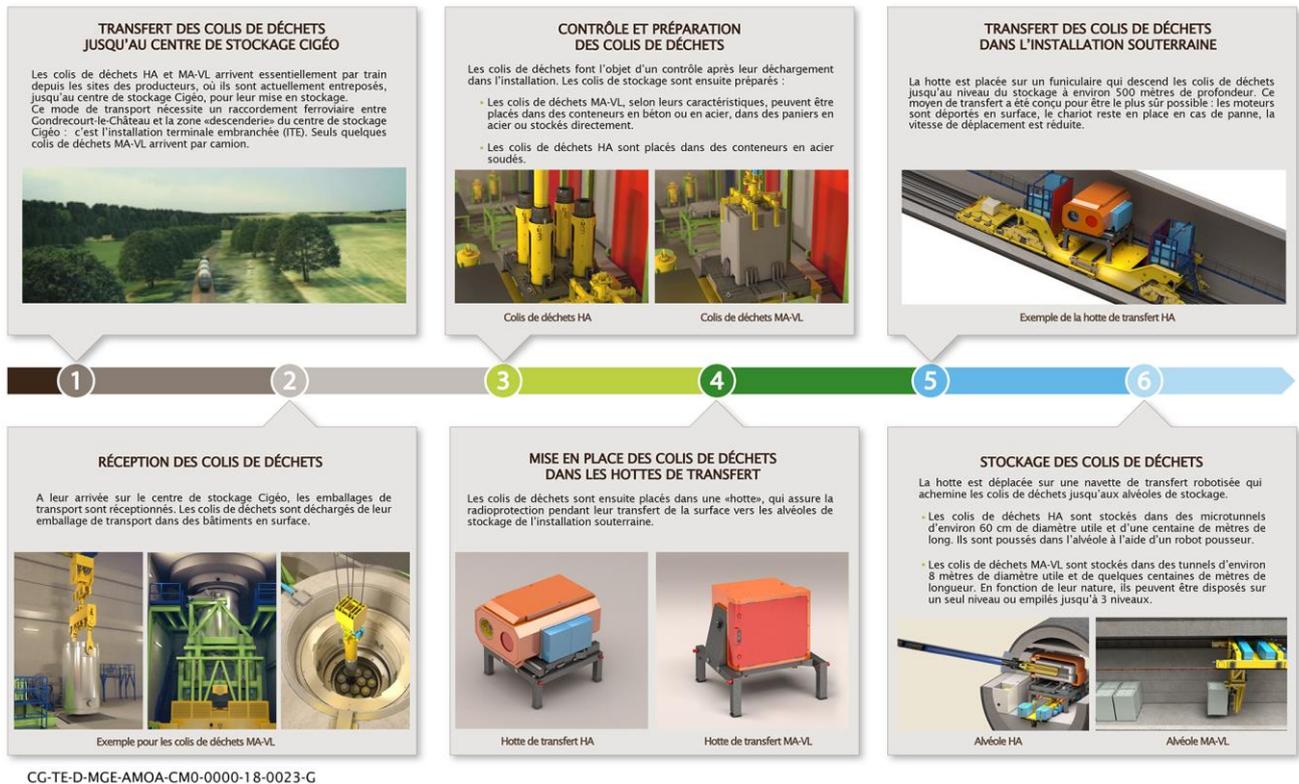


Figure 4-1 Illustration des grands principes du cheminement des colis de déchets jusqu'à leur emplacement de stockage

La prise en main de l'exploitation de l'INB Cigéo, comme toute INB, renvoie plus particulièrement à la vérification d'un fonctionnement industriel, notamment en termes d'opérabilité et de maintenabilité dans des conditions répondant aux objectifs de protection des intérêts. Il s'agira notamment de valider la capacité organisationnelle à maîtriser le domaine de fonctionnement de l'INB et les risques.

Cette prise en main de l'exploitation de l'installation s'effectue globalement à l'échelle des différents process, au sein de chaque partie de l'installation et à l'échelle globale de l'installation. Elle inclut des dispositions organisationnelles (responsabilités, modalités de travail, interactions...). La prise en main vise notamment à consolider les règles générales d'exploitation (RGE) de l'INB (par exemple l'organisation, les consignes pour les opérateurs, les dispositions en matière de surveillance de l'installation...) et le plan d'urgence interne (PUI).

À ce stade, la pièce 9 du dossier de demande d'autorisation de Cigéo, relative aux capacités techniques de l'exploitant dans son chapitre 3.2, présente l'organisation générale de l'Andra prévue en phase de construction initiale [11]. Le volume 6 de la pièce 7 « version préliminaire du rapport de sûreté » présente également les premiers éléments en matière d'organisation [4].

En synthèse

Dans une logique de développement progressif, la Phipil a ainsi un rôle important pour conforter les choix retenus :

- via la capitalisation du retour d'expérience de la réalisation des structures/systèmes/composants, l'objectif étant dans l'amélioration continue/optimalisation en vue des tranches ultérieures ;
- via la vérification, en regard des objectifs de sûreté définis, des activités nucléaires sur les plans technique et organisationnel. Ceci concerne l'ensemble des opérations de manutention (réception, mise en conteneur éventuelle, transferts, mise en stockage et retrait d'exploitation), et de contrôle.

4.2 Préparer les installations et ouvrages pour permettre leur exploitation

Pendant la construction initiale, comme pour toute INB et comme l'Andra l'a fait pour ses centres de stockage de surface en exploitation, seront réalisées plusieurs opérations et essais en vue d'être en mesure de mener les activités nucléaires.

Cela consiste principalement à :

- procéder à la construction et à la réception des installations et ouvrages selon les exigences spécifiées ;
- fabriquer selon les exigences spécifiées, assurer/contrôler l'approvisionnement des équipements (conteneurs de stockage pour les colis primaires HA et MA-VL concernés, hottes de transfert, équipements de manutention, équipements de surveillance...)
- assurer le montage des équipements dans l'installation (exemple montage des ponts de manutention) et tester en inactif les équipements unitairement et dans leur ensemble ;
- mettre en œuvre le processus d'approbation des familles de colis de déchets radioactifs en vue de la mise en stockage pour la première tranche ;
- préparer les règles générales d'exploitation de l'INB et le plan d'urgence interne ainsi que l'organisation de l'exploitant nucléaire pour être opérationnel dès la mise en service (préparation / formation / qualification / transfert aux futures équipes d'exploitation) ;
- et préparer le dossier de demande de mise en service (cf. § 3.3).

4.2.1 Confirmer en conditions réelles les méthodes industrielles de réalisation en souterrain

La réalisation des installations et ouvrages en surface s'appuie sur l'ensemble des connaissances acquises lors de la réalisation des installations nucléaires de base « classiques ». En effet, la conception des installations de surface relève essentiellement d'une déclinaison à l'INB Cigéo de celle issue du retour d'expérience du fonctionnement d'autres INB.

Concernant les opérations de construction, de montage des équipements des installations pour le stockage (surface et souterrain), celles-ci s'appuieront également sur le retour d'expérience propre à l'Andra dont notamment les opérations de construction et d'exploitation du CSA qui confèrent à l'Andra un savoir-faire en termes de construction et exploitation d'une INB de stockage avec un retour d'expérience important.

En ce qui concerne la réalisation en milieu souterrain, grâce à la construction et au fonctionnement du Laboratoire souterrain, l'Andra dispose d'un retour d'expérience important relatif à la construction, la caractérisation mais aussi l'exploitation d'ouvrages souterrains, ceci sur une période supérieure à 20 ans (cf. pièce 9 relative aux capacités techniques de l'exploitant [11]).

Certaines questions techniques ne peuvent être totalement résolues par des expérimentations en surface ou dans le Laboratoire souterrain. Elles feront l'objet de mises en œuvre et d'essais dans l'environnement souterrain réel du stockage. Il s'agira en particulier de vérifier que la qualité de la réalisation visée est atteinte (cf. § 0). Il s'agit notamment pour la réalisation des ouvrages souterrains :

- de confirmer les modalités de conception et de construction dans la zone d'implantation réelle de l'installation souterraine et de la performance observée sur une première période temporelle ;
- de mesurer l'impact de la réalisation des installations et ouvrages, sur l'endommagement de la formation du Callovo-Oxfordien, plus particulièrement dans l'unité Silto-carbonatée, susceptible de remettre en cause l'atteinte de la performance des scellements de puits.

La capitalisation du retour d'expérience des dispositions techniques (méthode de creusement) et organisationnelles (analyse de conformité, traitement des écarts) lors de la réalisation des ouvrages pendant la Phipil en termes d'industrialisation du creusement et de comportement des ouvrages permettra de préparer la poursuite du déploiement du stockage pour les tranches suivantes. Celles-ci pourront être poursuivies selon le même schéma ou en intégrant au besoin des adaptations ou modifications. Des optimisations de la conception et des conditions de réalisation pourront éventuellement être décidées sur la base de l'expérience acquise.

 OBJECTIF

Confirmer en conditions réelles les méthodes industrielles de réalisation en souterrain

- Qualifier les procédés industriels de creusement en vraie grandeur et dans les conditions de mise en œuvre réelle de l'installation souterraine
- Vérifier la qualité des ouvrages réalisés en vraie grandeur (galeries et alvéoles de taille supérieure à ceux réalisés en préalable au Laboratoire souterrain)

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Conformité à l'attendu (contrôle à réalisation selon les exigences attendues, par exemple exigence en matière de sécurité, exigence en matière d'impact sur l'endommagement du Callovo-Oxfordien...)
- Conformité à l'attendu en matière de comportement mécanique (mise en charge et déformation) des ouvrages

 MOYENS

- Analyse croisée des méthodes de creusement des puits intégrant outre l'impact sur l'endommagement au mieux des connaissances scientifiques et technologiques, la capacité de traitement du Callovo-Oxfordien au moment de la réalisation des scellements de puits et choix de la méthode de creusement
- Déploiement du procédé industriel qualifié de creusement des ouvrages souterrains
- Mise en œuvre du programme de surveillance du comportement mécanique des ouvrages souterrains intégrant le retour d'expérience des moyens mis en place au Laboratoire souterrain
- Mise en œuvre du programme de réalisation de démonstrateurs de constructibilité d'alvéoles HA et MA-VL
- Mise à jour de la démonstration de sûreté sur la base des résultats des démonstrateurs notamment pour l'alvéole HA.
- Traitement des écarts

4.2.2 Qualifier les éléments importants pour la protection (EIP) du process nucléaire

Pour rappel, le process nucléaire couvre l'ensemble des opérations de manutention et de contrôle à partir de la réception des colis de déchets dans le bâtiment nucléaire de surface EP1 jusqu'à leur mise en stockage.

La majorité des équipements participant au process nucléaire de l'INB Cigéo sont des équipements considérés comme standards, c'est-à-dire, déjà mis en œuvre dans des INB. Parmi ces équipements, certains sont identifiés comme des éléments importants pour la protection (EIP).

Élément important pour la protection (EIP)

Conformément à la réglementation [15] et [19], les EIP retenus contribuent à assurer :

- une fonction directe de réalisation d'une fonction de sûreté ;
- une fonction support aux fonctions de sûreté (fluides et utilités) ;
- une fonction de contrôle surveillant l'accomplissement des fonctions de sûreté ;
- une fonction de protection des EIP.

Afin de vérifier la capacité des EIP à assurer les fonctions qui leur sont assignées dans la démonstration de sûreté et les exigences définies associées, comme tout exploitant d'INB, l'Andra prévoit de qualifier les EIP conformément

aux préconisations de l'arrêté du 7 février 2012 modifié, fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (dit arrêté INB) [19].

Comme pour toute INB, les méthodes de qualification seront mises en œuvre et les EIP du process nucléaire seront qualifiés pendant la construction initiale.

Les méthodes permettant de justifier la qualification des EIP varient selon les exigences définies (ED) qui leur sont assignées et sont de plusieurs natures (analogie, calculs, essais, ou méthode mixte). Elles sont mises en œuvre de telle sorte que chacun des EIP est qualifié en vue de sa mise en fonctionnement.

Leur qualification s'appuie notamment sur le retour d'expérience d'autres installations nucléaires ou d'installations industrielles. Il s'agit d'un processus classique de développement dont les actions ne sont pas détaillées ici.

Des essais sont déjà réalisés pour certains éléments comme les conteneurs de stockage MA-VL apportant des éléments sur leur qualification. Des prototypes ont été par exemple utilisés pour la réalisation d'essais de qualification avec pour objectif de vérifier le comportement des conteneurs et le fait qu'ils permettent de répondre aux exigences, notamment au regard des risques de chute, de tenue au séisme ou encore d'incendie. La cohérence avec les calculs est également vérifiée (illustration en Figure 4-2 ci-après).

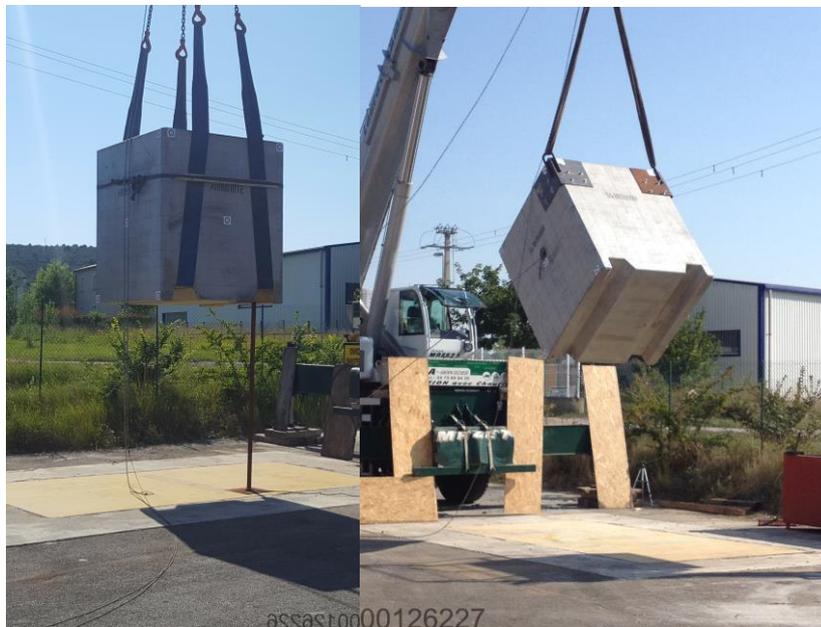


Figure 4-2 Photographies de configurations de chute d'un conteneur de stockage MA-VL en béton

Pour certains équipements du process nucléaire présentant des spécificités (dimensions, mise en œuvre en souterrain...), des étapes en vue de la qualification seront mises en œuvre pendant la phase « inactive » (sans colis de déchets radioactifs) de la Phipil. À ce titre, dans la mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté (cf. § 3.3), l'Andra présentera les critères et méthodes permettant de justifier la qualification des EIP au regard du respect de leurs exigences définies.

Le transfert des colis de déchets dans la descenderie colis est considéré par l'Andra comme un enjeu stratégique et structurant pour la sûreté. Dès le début de la conception, l'Andra a donc recherché les solutions techniques existantes, et les a analysées en regard des spécificités de l'installation de stockage en couche géologique profonde en particulier pour la phase de transfert des colis de déchets radioactifs de la surface vers les ouvrages souterrains. Ce caractère stratégique et innovant de la descenderie colis a conduit l'Andra, sur la base d'une analyse menée depuis une vingtaine d'années¹⁷ de plusieurs solutions, à retenir le système de transfert par câble

¹⁷ L'Andra a mené des analyses incluant plusieurs critères, notamment la sûreté, le risque incendie, les facteurs organisationnels et humains, la simplicité et la robustesse, le retour d'expérience, la fiabilité, la disponibilité, etc.

de type funiculaire comme solution dans le dossier de DAC. Ce choix est conforté par un retour d'expérience important sur le fonctionnement de funiculaires au niveau national et international.

Une partie des équipements ont déjà fait l'objet d'essais (y compris pour certains composants dans le Laboratoire souterrain) dans les phases amont du projet afin de vérifier leur faisabilité. À titre illustratif, concernant le funiculaire, un banc d'essais a été réalisé à Froncles. Ce banc d'essais a permis de tester les systèmes de freinage (les composants et les logiciels) pour vérifier l'opérabilité des systèmes intégrés dans la conception et l'atteinte des performances attendues. La construction de ce banc d'essai (cf. Figure 4-3) d'échelle 1 a permis de valider les processus de fabrication.



Figure 4-3 Photographie du banc d'essais du système de freinage du funiculaire

La qualification initiale des EIP se déclinera par le déploiement d'un programme de qualification faisant appel à des méthodes (calculs ou essais, ou méthodes les combinant) selon des étapes progressives en qualifiant dans un premier temps les sous-composants de l'EIP puis le composant dans sa globalité. Une fois la qualification initiale prononcée, les composants seront fabriqués/construits, montés sur l'installation. Des essais en inactif et en actif (à l'échelle du composant, mais aussi au niveau de la chaîne électromécanique) seront ensuite réalisés afin de s'assurer de la bonne atteinte des exigences définies.

Les actions principales résultent du besoin de conforter la démonstration de l'atteinte des exigences définies (performances attendues de ces composants spécifiques dans des conditions environnementales) et de la capacité à intervenir notamment en mode dégradé (en cas de situation de blocage éventuel) ainsi que de leurs contrôles et maintenance dans un environnement contraint.

À titre illustratif, parmi les composants du funiculaire nécessitant d'être qualifiés, les systèmes de freinage d'urgence du funiculaire sont des EIP, dont il n'existe pas d'autre exemple de réalisation pouvant servir d'analogie directe. Le transfert des colis de déchets dans la descenderie colis est considéré par l'Andra comme un enjeu stratégique et structurant pour la sûreté. Ce caractère stratégique et innovant de la descenderie colis a conduit l'Andra à structurer depuis 2008 sa démarche d'études internes et externes de recherche de solutions de façon progressive et suivant plusieurs axes, suivies par des analyses comparatives incluant plusieurs critères, notamment la sûreté, le risque incendie, les facteurs organisationnels et humains, la simplicité et la robustesse, le retour d'expérience, la fiabilité, la disponibilité, etc.

Comme pour le funiculaire, des essais de qualification des hottes nécessaires au transfert des familles de colis HA et MA-VL seront réalisés selon la démarche de qualification retenue. La qualification des hottes est vérifiée en regard des performances attendues pour les hottes et des typologies de familles de colis qu'elles transportent. À titre illustratif, la hotte de transfert des colis MA-VL sera qualifiée vis-à-vis du confinement des substances radioactives (hotte seule et hotte accostée) par des essais échelle 1 vis-à-vis des risques d'incendie et de chute.

OBJECTIF

Qualifier les EIP du process nucléaire

- Déployer les programmes de qualification des EIP

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Qualification effective des EIP18 pour le fonctionnement pendant la Phipil conformément à l'article 2.5.1 de l'arrêté INB du 7 février 2012



MOYENS

- Identification des critères et des méthodes permettant de justifier la qualification des EIP au regard du respect de leurs exigences définies (ceux-ci seront présentés dans la prochaine révision de la version préliminaire du rapport de sûreté de l'INB Cigéo)
- Établissement des méthodes de qualification disponibles (analogie, calculs, essais, ou méthode mixte) appropriées aux EIP (standards, propres à Cigéo)
- Mise en œuvre du programme de qualification et de surveillance des différentes étapes de la qualification, y compris des essais après montage sur site

4.2.3 Réaliser les essais

Avant le démarrage de l'installation pour sa phase de fonctionnement, les essais de l'ensemble des équipements, structures et systèmes sont réalisés au sein des bâtiments et ouvrages préalablement construits dans les différentes zones d'exploitation de l'INB.

Les essais participent à la validation de la performance globale de l'installation, tant industriellement (conduite du process nucléaire en particulier) que vis-à-vis des attendus en termes de protection des intérêts. Ils permettent de vérifier l'ensemble des fonctionnalités techniques et organisationnelles des différentes zones d'exploitation avant de recevoir les premiers colis radioactifs.

Comme pour toute INB, avec le soutien des futures équipes d'exploitation, les essais permettent :

- d'établir le caractère opérationnel des équipements en situations de fonctionnement ;
- d'établir la faisabilité des opérations de maintenance et de contrôle ;
- de vérifier le niveau de sûreté de l'installation au sein des zones opérationnelles, à travers notamment la réalisation d'essais spécifiques vis-à-vis des EIP ;
- de participer à l'obtention des performances attendues, aussi bien en termes de productivité (aspects cadences, qualité...) que vis-à-vis de la protection des intérêts (aspects sûreté et sécurité) ;
- de participer à la réduction des incertitudes sur la connaissance et à l'optimisation de la conception ou des opérations avant la mise en actif ;
- de former les futurs opérateurs au fonctionnement de l'INB Cigéo en particulier dans l'installation souterraine contribuant à la prise en main progressive de l'INB et à consolider l'établissement des règles générales d'exploitation (cf. § 4.3).

¹⁸ La liste des informations relatives à l'obtention effective sera présentée dans le cadre de la demande de mise en service (cf. Article 2.5.1 de l'arrêté INB du 7 février 2012).

dans un objectif de vérifier *a minima* :

- la conformité des équipements aux plans et schémas de conception et de réalisation, à la réglementation, aux normes en vigueur, aux recommandations des constructeurs et aux règles de l'art ;
- la capacité des équipements à respecter les exigences de protection des intérêts ;
- la capacité des équipements à assurer leurs fonctions et à atteindre les performances attendues.

La méthodologie de réalisation des essais est établie suivant un enchaînement logique qui intègre une démarche progressive de démonstration du fonctionnement unitaire de chaque composant, vers les essais fonctionnels de chaque sous-ensemble, puis vers un fonctionnement de l'ensemble de l'installation répondant aux attentes d'exploitation et de maintenance ainsi qu'aux exigences de sûreté définie au préalable. Cette intégration progressive comprend :

- des essais réalisés chez les fournisseurs, permettant de vérifier la qualité de fabrication/approvisionnement des différents équipements et matériels avant leur transfert sur le site de l'INB : cette phase intègre notamment l'ensemble des contrôles de conformité ainsi que les premiers essais fonctionnels des différents équipements et sous-ensemble prémontés ;
- des essais réalisés sur « site » comprenant :
 - ✓ la vérification du montage des équipements et systèmes sur site, avec notamment les contrôles de conformité et de câblage (tests de raccordement « fils-à-fils ») ;
 - ✓ des tests d'intégration électrique, contrôle-commande et mécanique des équipements et systèmes (tensions d'alimentation, protections, instrumentation et interverrouillages, essais à blanc et adressages, mouvements et fonctions élémentaires...) ;
 - ✓ des essais d'ensemble des différents réseaux, une fois raccordés aux différentes zones d'exploitation (descenderie, puits, funiculaire et ouvrages souterrains), avec en l'occurrence la mise en œuvre des circuits de ventilation, utilités et électricité : cette phase prévoit également les essais de transfert et stockage de colis fictifs (non actifs) en alvéoles.

Vis-à-vis du fonctionnement normal et en conditions dégradées afin de vérifier le bon fonctionnement des opérations, ces essais intègrent la vérification des séquences opératoires en mode automatique ainsi qu'en mode manuel pour permettre la réalisation « pas à pas » de certaines opérations avec maintien des asservissements de sûreté/sécurité.

Pour répondre à des besoins spécifiques de la maintenance¹⁹, les essais en mode manuel permettent la vérification/réalisation individualisée des mouvements d'une séquence automatisée ou non.

En amont de la période d'exploitation proprement dite, l'objectif global de ces essais est donc de démontrer le bon fonctionnement des différents ensembles fonctionnels de l'installation avec notamment :

- la mise en service effective des équipements et des fonctions du process ;
- la vérification des cadences et du maintien en conditions opérationnelles ;
- la vérification des aspects sûreté ainsi que la fiabilité de l'installation.

Les essais se décomposent ainsi en phases successives (cf. Figure 4-4) :

- essais qui permettent de valider la conception, le montage et le fonctionnement des composants/équipements en usine avant livraison sur site, y compris les tests des logiciels. Les essais fournisseurs sont réalisés dans un environnement le plus représentatif des conditions de site ;
- essais statiques en cours de montage et de fin de montage permettant le passage en essais fonctionnels ;
- essais fonctionnels permettant de valider la mise au point et la configuration des paramètres nécessaires au fonctionnement de l'installation conformément aux spécifications fonctionnelles ;
- essais d'ensemble en inactif qui permettent de valider le fonctionnement global de l'exploitabilité et de la maintenabilité des équipements ;
- essais de démarrage²⁰ qui constituent une phase importante de préparation au fonctionnement de l'INB en particulier à la mise au point des règles générales d'exploitation et à la formation du personnel. La fin des essais de démarrage se traduit par la remise d'un dossier de fin de démarrage (cf. § 3.3).

¹⁹ A titre illustratif : situation dégradée nécessitant la levée d'un certain nombre d'asservissements liés à la conduite normale

²⁰ Conformément à l'engagement pris lors de l'instruction technique du dossier de DAC, l'Andra précisera, notamment dans la prochaine révision de la version préliminaire du rapport de sûreté de l'INB Cigéo, le programme des travaux à réaliser en phase industrielle pilote « inactive » permettant de conforter la démonstration de sûreté.

À chaque phase d'essai, sont testés :

- le fonctionnement normal des équipements concernés (individuels, sous-ensembles, ensembles, systèmes supports dont la ventilation nucléaire et le contrôle-commande) ;
- le fonctionnement en mode dégradé (les modes de dépannage et d'intervention sont vérifiés et validés).

Ces essais couvrent à la fois l'intégration, la vérification, la validation et la qualification du système conformément au plan « intégration, vérification, validation, qualification » (IVVQ) qui identifie les jalons de développement et de qualification des composants ou de remontage de niveau système, jusqu'aux différentes étapes de mise en service.

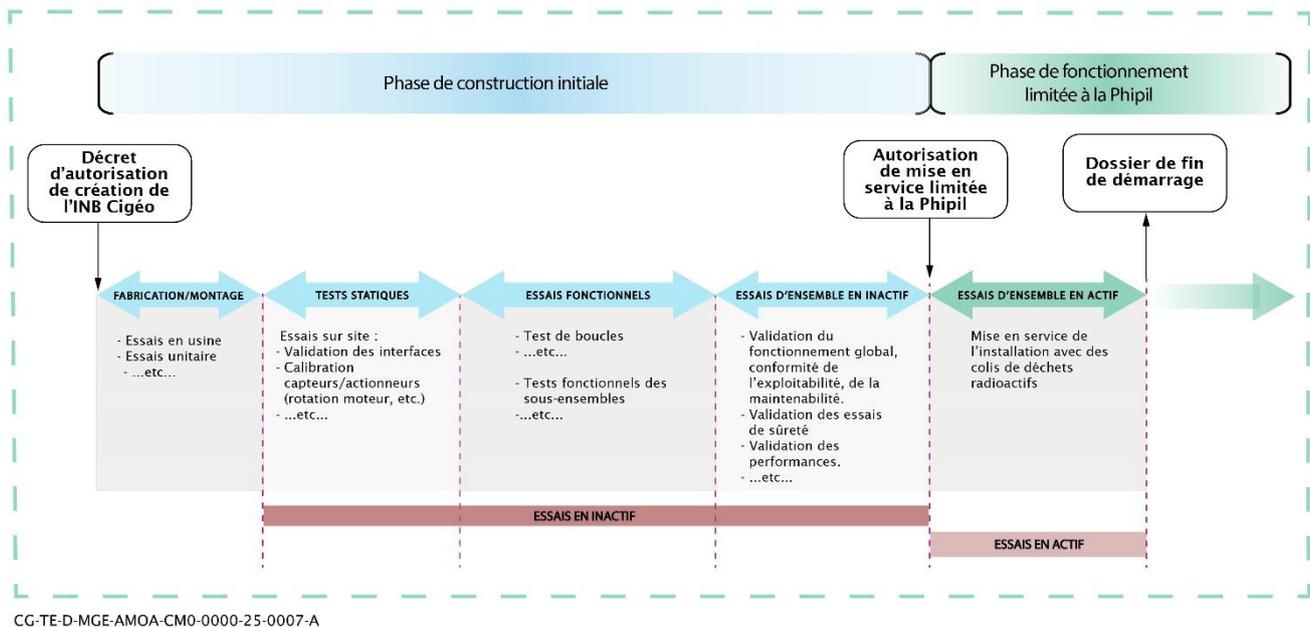


Figure 4-4 Schéma illustratif d'enchaînement général des essais respectivement avant et après l'autorisation de mise en service limitée à la Phipil

Pour ce qui relève plus des opérations spécifiques à l'INB Cigeo, c'est-à-dire les opérations de mise en place et de récupérabilité des colis de stockage, les essais en inactif de mise en place et de retrait de colis visent à vérifier les procédures d'exploitation (y compris les procédures de maintenance) dans des conditions inactives, avec des colis de stockage factices représentatifs des colis réels prévus dans ces quatre premiers alvéoles (e.g. Essais de vérification du bon fonctionnement individuel et d'ensemble des équipements des systèmes de manutention, automatismes, etc.).

Les différents moyens de surveillance (dispositifs et organisation) retenus à ce stade, notamment en lien avec les objectifs de surveillance vis-à-vis de la sûreté à long terme (cf. § 4.4), seront également installés lors de la construction des ouvrages et feront l'objet d'essais avant leur mise en service. Les résultats de ces essais permettront de conforter les choix retenus.

 OBJECTIF

Réaliser les essais

- Procéder aux essais par étapes (fonctionnels puis les essais d'ensemble)

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Conformité des essais fonctionnels et d'ensemble aux attendus du programme d'essais



MOYENS

- Mise en œuvre du programme d'essais (comprenant les attendus et les critères recherchés) qui seront réalisés pendant la construction en surface, en souterrain y compris au Laboratoire souterrain
- Mise en œuvre du programme de surveillance des essais

4.2.4 Préparer et mettre en œuvre les opérations de réception des familles de colis

Comme indiqué en chapitre 2.3.1, la liste des familles envisagée à ce stade pour la Phipil peut évoluer d'ici la mise en service en particulier en regard de leur adéquation avec les spécifications d'acceptation.

Comme pour toute INB de stockage, les colis qui seront stockés pendant la Phipil devront avoir fait l'objet d'un accord de livraison. Les spécifications d'acceptation des colis mentionnées à l'article L. 542-12 du code de l'environnement définissent les critères qu'un colis de déchets radioactifs doit respecter pour être accepté dans l'INB de stockage.

Les spécifications préliminaires d'acceptation des colis de déchets radioactifs du dossier de DAC [10], éventuellement modifiées, constituent, après accord de l'ASNR, les spécifications d'acceptation mentionnées à l'article 3.1.1. Cet accord ne peut être donné qu'après l'autorisation de création de l'installation de stockage.

Les colis qui seront acceptés sur l'INB Cigéo, passeront les étapes du processus d'acceptation comme pour toute installation de stockage (e.g. CSA) et conformément à la décision n° 2017-DC-0587 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de stockage.

Le processus d'acceptation commence réglementairement à partir de l'accord de l'ASNR sur les spécifications préliminaires d'acceptation des colis (conformément à l'article 4.2.2 de l'annexe à la décision n° 2017-DC-0587 précitée) qui deviennent alors les spécifications d'acceptation applicables. Cet accord ne peut intervenir qu'après la délivrance du décret portant autorisation de création de l'INB Cigéo et au plus tard à la mise en service de l'installation.

Le processus d'acceptation des colis dans l'INB Cigéo comprend quatre étapes successives et consécutives :

- l'approbation d'une famille de colis²¹ ;
- l'accord de prise en charge de colis ;
- l'accord de livraison ;
- l'acceptation d'un colis²².

La Phipil constitue ainsi une phase de confirmation de mise en œuvre du processus d'acceptation *supra*.

²¹ L'approbation : acte par lequel l'Andra, en tant qu'exploitant d'une INB de stockage disposant de spécifications d'acceptation des colis de déchets radioactifs, matérialise un accord générique sur les dispositions relatives au conditionnement des déchets radioactifs sous la forme d'un colis de déchets radioactifs définitif selon une procédure donnée ;

²² L'acceptation : acte par lequel l'Andra matérialise son accord pour le stockage dans l'INB d'un colis de déchets radioactifs donné

En termes de contrôle des colis, comme mentionné dans le dossier de DAC, et comme pour toute INB de stockage (e.g. CSA), des contrôles systématiques sont réalisés à l'arrivée de chaque transport (dossier et emballage) puis sur chaque colis, permettant de vérifier l'identification des colis et leur respect aux spécifications d'acceptation. Des contrôles sont également effectués pendant les opérations de mise en conteneur, et de transfert (débit de dose, niveau de contamination...).

À travers ses activités historiques en termes d'études, recherche et développement ainsi que par l'exploitation des centres de stockage actuellement existants, l'Andra dispose déjà d'une expérience solide concernant l'ensemble des activités relatives à la maîtrise de la qualité des colis à stocker, de la connaissance des déchets radioactifs ainsi que des process de contrôle et de stockage de ces colis dans les conditions de sûreté attendues.

Des contrôles colis hors flux viennent en complément des autres actions de surveillance des colis (chez les producteurs, contrôles à réception...) et contribuent à s'assurer de l'efficacité des dispositions de maîtrise de la qualité des colis mises en œuvre préalablement par le producteur et l'Andra. Leurs fréquences et leurs modalités de contrôle sont proportionnées aux enjeux. Ils correspondent à une expertise de paramètres des colis participant à la sûreté de l'INB Cigéo. Le temps de contrôle est adapté aux performances attendues de l'expertise (surface couverte, temps de mesure, précision...). La liste des contrôles à effectuer sera définie par famille au moment de l'approbation.

Les contrôles colis hors flux peuvent être réalisés sur le site du producteur de colis de déchets (sur le site de conditionnement ou sur le site d'entreposage) ou sur l'INB Cigéo. Dans le cadre de la configuration retenue à ce stade, il a été fait le choix de façon conservatoire d'une localisation des différents contrôles hors flux identifiés dans le bâtiment nucléaire de surface EP1.

Pendant la phase de construction initiale et en vue de la demande de mise en service de l'INB, l'Andra présentera les choix retenus pour le contrôle hors flux des familles de colis dont le stockage est prévu pendant la Phipil.

La phase de fonctionnement sera par ailleurs l'occasion d'apporter un retour d'expérience sur le processus de livraison, de réception, de contrôles dans le bâtiment EP1 et de contrôles hors flux des colis retenus pour la Phipil. Ce retour d'expérience permettra de confirmer les processus et contrôles et le cas échéant de les optimiser en vue de la réception des colis pour les tranches ultérieures. Le retour d'expérience acquis au cours Phipil sur les contrôles hors flux et les contrôles de manière générale qui seront réalisés, permettra de confirmer et optimiser les contrôles qui seront à réaliser pour les familles de colis stockées après cette phase.

OBJECTIF

Préparer et mettre en œuvre les opérations de réception des familles de colis

- Consolider la liste des familles de colis qui seront stockés pour la Phipil et la chronique de livraison
- Vérifier en amont de l'expédition des colis vers l'INB Cigéo que ceux-ci sont conformes aux spécifications d'acceptation
- Disposer d'un retour d'expérience du processus d'acceptation

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Approbation délivrée pour les familles de colis de la Phipil pour les quatre premiers alvéoles MA-VL et le quartier pilote HA
- Acceptation des colis de la Phipil
- Bilan du retour d'expérience

MOYENS

- Établissement du processus d'acceptation
- Mise en œuvre du processus d'acceptation dès l'approbation des spécifications d'acceptation par l'ASNR.

4.3 Prendre en main progressivement l'exploitation et consolider l'organisation de l'exploitant nucléaire

Les opérations d'exploitation de l'INB sont réalisées dans le cadre des règles générales d'exploitation (RGE)²³, selon des modes opératoires prédéfinis. Avant la mise en service, la définition préalable des modes opératoires pour chacune des séquences opératoires permet d'assurer la réalisation des opérations dans des conditions sûres, tant en fonctionnement normal qu'en situation dégradée.

La prise en main progressive par les équipes en charge de l'exploitation de l'INB (opérateurs, équipes sûreté, sécurité, environnement, maintenance...) vise à maîtriser :

- l'automatisation de la majeure partie du process nucléaire de l'INB ;
- la gestion de l'exploitation ainsi que le suivi des conditions de sûreté/sécurité par une conduite centralisée de l'ensemble des zones d'exploitation de l'INB : conduite de l'exploitation, conduite des ensembles fonctionnels nécessaires à la conduite de l'installation (ventilation, utilités, vidéo, incendie, etc.) et supervision des informations de radioprotection ;
- la surveillance et les différents contrôles du process nucléaire.

Elle s'effectue, comme pour toute INB, dans la continuité des essais de démarrage en inactif réalisés pendant la phase de construction initiale qui auront déjà permis aux futures équipes d'exploitation de se former et d'acquérir les compétences nécessaires pour réaliser les opérations sur l'INB Cigéo en veillant à la protection des intérêts. Lors des premières années d'exploitation, des essais de démarrage « en actif » vont être menés, avec des colis de déchets radioactifs. Les premières années d'exploitation permettront également de valider la capacité organisationnelle de l'Andra à stocker les colis de stockage et de gérer les flux, maîtriser le domaine de fonctionnement de l'installation, la sécurité des travailleurs, la protection de l'environnement conformément à l'étude d'impact présentée en support de la demande de mise en service et les risques nucléaires conformément à la démonstration de sûreté présentée dans le rapport de sûreté de demande de mise en service.

Ainsi en phase de fonctionnement, l'exploitation de l'INB Cigéo prévoit d'assurer notamment :

- la maîtrise de la conduite du process nucléaire et de ses fonctions support (gestion des effluents et déchets induits, distribution électrique, distribution des utilités, ventilation nucléaire...);
- la maîtrise des opérations de maintenance des équipements, systèmes (circuits) et structures au sein des différentes zones d'exploitation de l'INB ;
- la maîtrise des activités d'archivage et du maintien de la mémoire ;
- la maîtrise des situations accidentelles (gestion de crise) ;

dans un objectif de :

- respecter la qualité des activités en fonctionnement normal (par exemple la qualité des modes opératoires process et maintenance programmée, la qualité de la gestion des interfaces avec notamment l'approvisionnement des énergies et utilités, la qualité des processus de surveillance et de la gestion des données associées...);
- respecter la qualité des activités en fonctionnement dégradé en présence d'aléa ou de perturbations du type (validation de la flexibilité de l'exploitant en termes de préparation et d'adaptation des installations, fiches réflexes...);
- mener les activités de maintenance en particulier des EIP.

Par ailleurs, comme cela est déjà le cas pour toute INB, des exercices de gestion de crise²⁴ [20] seront réalisés afin de tester le plan d'urgence interne (contenu et organisation de la gestion de crise).

²³ Pour rappel, les RGE sont établies pour la mise en service (cf. chapitre 3).

²⁴ Selon la définition de l'arrêté du 28 août 2017 portant homologation de la décision n° 2017-DC-0592 de l'Autorité de sûreté nucléaire, « *exercice de crise : la mise en œuvre simulée du plan d'urgence interne conduisant à l'activation des fonctions PUI, avec mise en œuvre complète de l'ensemble des postes de commandement et de coordination de l'organisation locale de crise et, à une fréquence adaptée, de l'organisation nationale de crise, le cas échéant* ».

Le plan d'urgence interne (PUI)

Le plan d'urgence interne définit l'organisation et les moyens mis en œuvre des actions d'urgence incombant à l'exploitant. Il est l'une des pièces du dossier de demande de mise en service (cf. § 3.1).

Des dispositions de gestion de crise sont définies dans le cadre du PUI pour déployer, à temps, des moyens d'urgence adaptés (techniques, organisationnels et humains) afin de gérer la crise et d'en limiter les conséquences.

Les situations éligibles au déclenchement d'un PUI sont donc des situations nécessitant la mise en œuvre d'une organisation et de moyens spécifiques qui se substituent à l'organisation et aux moyens habituels.

Les exercices de crise réalisés pendant les premières années de fonctionnement de la Phipil permettront de consolider l'organisation de gestion des incidents et accidents en particulier la formation et l'entraînement du personnel et de fiabiliser les comportements dans les situations incidentelles ou accidentelles. À l'issue de ces exercices, le retour d'expérience acquis permettra le cas échéant de procéder aux ajustements sur le contenu et l'organisation de la gestion de crise du PUI.

Ainsi, le retour d'expérience des premières années de fonctionnement permettra d'optimiser l'organisation de l'exploitation nucléaire dans les différentes situations de fonctionnement, en particulier *via* la mise à jour des règles générales d'exploitation (RGE) et du plan d'urgence interne (PUI).

Par ailleurs, la poursuite des opérations nucléaires, dans le cadre fixé par l'ASNR pour la mise en service de la Phipil, jusqu'à une éventuelle décision de mise en service complète, garantit les conditions de sûreté et de surveillance de l'INB Cigéo.

Ceci permet d'abord, dans la phase transitoire entre la décision du Parlement et le début de la poursuite de l'exploitation, de conserver un cadre réglementaire qui aura été éprouvé par les premières années d'exploitation.

Une interruption du fonctionnement de l'INB est en outre susceptible de générer des risques au moment de la reprise de l'activité. En effet, pour le fonctionnement des équipements et pour le travail des équipes, les phases de redémarrage après arrêt, en particulier des arrêts prolongés, sont toujours des phases sensibles, dont il faut essayer de les éviter ou de réduire leur nombre.

De plus, une interruption prolongée d'activité pourrait entraîner la démobilisation des équipes et générerait des risques de perte de compétences.

L'Andra propose que la continuité de l'exploitation entre la remise du rapport de synthèse de la Phipil et la mise en service complète de l'installation se poursuive dans les conditions autorisées lors de la première autorisation de mise en service initiale. Cela couvre l'instruction du rapport de synthèse de la Phipil, pendant la procédure d'adoption du projet de loi prévu à l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement et pendant la préparation du dossier de demande d'autorisation de poursuite de l'exploitation et son instruction.

 OBJECTIF

Consolider l'organisation de l'exploitant

- Maîtriser les opérations en fonctionnement
- Maîtriser les situations incidentelles/accidentelles

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Procédures et consignes consolidés pour les phases ultérieures²⁵

 MOYENS

- Formalisation du REX de l'exploitation des installations sur le plan des dimensions organisationnelles et humaines d'exploitabilité
- Mise en œuvre du programme des essais en inactif
- Mise en œuvre du programme d'essais en actif
- Mise en application des règles générales d'exploitation pendant quelques années sur l'INB après autorisation de mise en service
- Réalisation des exercices de gestion de crise en lien avec le plan d'urgence interne
- Continuité de l'exploitation

4.4 Déployer progressivement la surveillance

Comme toute installation nucléaire, et conformément à l'arrêté du 7 février 2012, l'Andra en tant qu'exploitant nucléaire, mènera des activités de surveillance. L'exploitation des centres CSA, CSM et Cires procure à l'Andra un solide retour d'expérience qui confère une capacité technique et organisationnelle transposable à Cigéo [11].

Dans le cadre de l'atteinte des objectifs de protection associées aux personnes (travailleurs et public) et à l'environnement, la surveillance de l'INB participe en particulier à la maîtrise des risques induits par la radioactivité des déchets au regard de la sûreté en exploitation. Les dispositifs de surveillance visent notamment à vérifier que l'INB reste dans son domaine autorisé (respect des autorisations de rejets, respect des prescriptions techniques...). A titre illustratif, la surveillance comprendra :

- la surveillance radiologique des locaux ;
- la surveillance de l'exposition des travailleurs ;
- la surveillance de la contamination atmosphériques et des niveaux d'irradiation au sein de l'installation ;
- la surveillance des rejets gazeux et des effluents liquides ;
- la surveillance des risques liés à la sûreté-criticité ;
- la surveillance des risques liés à la thermique des colis ;
- la surveillance des risques liés aux gaz inflammables produits par radiolyse et par corrosion.

Comme pour toute INB, les modalités de mise en œuvre de la surveillance de l'environnement sont présentées dans la « Pièce 6 – Étude d'impact du projet global Cigéo » [12] du dossier de DAC.

Les opérations pendant la phase de fonctionnement consistent principalement en des opérations de manutention de colis de déchets radioactifs (de leur réception à leur mise en stockage voire leur retrait). À ces opérations sont associées des activités de contrôles (contrôle à réception des colis, contrôle du process nucléaire, etc.) et de surveillance (surveillance des conditions d'ambiance dans les alvéoles de stockage HA, de stockage MA-VL, surveillance de l'environnement, etc.). Ces opérations et activités interviennent en surface et en souterrain.

De manière globale, les activités de surveillance se déclinent ainsi tout au long du déploiement d'une INB. A titre illustratif, une fois le décret d'autorisation de création de l'INB Cigéo publié, dès que la construction initiale de

²⁵ Les RGE, PUI seront notamment mises à jour le cas échéant à l'issue de la Phipil

l'installation nucléaire est initiée, des activités de suivi de cette construction sont mises en place pour maîtriser le suivi du comportement des ouvrages souterrains. Une fois l'autorisation d'exploiter l'installation nucléaire limitée à la Phipil obtenue, les premières opérations sur les colis de stockage radioactifs accompagnées d'activités de surveillance sont également mises en œuvre.

La surveillance est organisée sous deux angles :

- la surveillance de l'environnement, intégrant l'ensemble des contrôles et gestion associés relatifs aux nuisances et impacts à l'environnement de surface et aux aquifères ;
- la surveillance de l'installation, intégrant l'ensemble des contrôles et gestion associés relatifs à l'état et aux conditions d'exploitation et de sûreté de l'INB.

Au préalable de la phase de construction initiale (cf. volume 7 de la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » [12]), et comme pour toute INB, un état initial dit « État zéro » de l'environnement est établi.

L'Andra a par ailleurs prévu d'ici la mise en service de l'INB Cigéo d'affiner la connaissance de l'état initial de l'environnement en actualisant notamment l'état initial radiologique. Cette démarche permettra :

- de bénéficier des meilleures techniques disponibles et ainsi permettre l'identification le cas échéant de radionucléides présents à des teneurs non mesurables lors de la réalisation de la campagne initiale (notamment grâce à une amélioration des seuils de décision) ;
- de disposer de valeurs initiales à considérer pour l'ensemble des éléments de l'inventaire prévisionnel de l'INB Cigéo et ce, pour chaque matrice environnementale, en amont de la mise en œuvre de la surveillance prévue pour la phase de fonctionnement.

Ainsi, l'Andra présentera, préalablement à la mise en service, les résultats de la nouvelle campagne de caractérisation de l'état initial radiologique et chimique de l'environnement prévue par l'Andra dans le secteur de Meuse/Haute-Marne. Cette campagne :

- intégrera les éléments susceptibles d'être présents dans l'environnement, naturellement ou du fait d'activités humaines non liées à l'INB Cigéo. Pour les éléments non détectés jusqu'à présent, une analyse croisée des impacts avec les techniques analytiques existantes et les coûts afférents sera réalisée ;
- inclura en particulier les éléments issus des versées si les recherches de leur effet sur l'environnement en démontrent la nécessité ;
- sera réalisée dans les différents compartiments de l'environnement, à l'aide des meilleures techniques disponibles.

Comme également dans toute INB, et conformément au second principe de défense en profondeur de maîtrise des risques, des dispositions techniques (équipements de mesure) et organisationnelles (procédures) de surveillance sont mises en place dans les installations et ouvrages pour détecter la survenue d'éventuelles dérives de fonctionnement ou des incidents et mettre en œuvre les actions correctives.

En phase de fonctionnement, les actions de surveillance radiologique au sein de l'INB découlent, pour l'essentiel, de l'application des obligations réglementaires en vigueur. Cette surveillance a pour objectifs principaux suivants :

- la surveillance des lieux et la protection des personnes présentes sur le site ;
- la surveillance radiologique des effluents liquides et gazeux rejetés à l'environnement ;
- le contrôle de l'efficacité des différentes barrières et des systèmes de confinement.

Vis-à-vis des colis, la surveillance comprend d'une part des activités de contrôles réalisés sur les sites producteurs lors de leur production et entreposage préalable et d'autre part, des contrôles réalisés sur l'INB Cigéo, une fois les colis réceptionnés (cf. § 4.2.4).

Concernant la surveillance en lien avec les fonctions de sûreté après fermeture, en accord avec les standards et pratiques internationaux, l'Andra a établi une stratégie de surveillance [13] synthétisée dans le volume 8 de la version préliminaire du rapport de sûreté [4]. La stratégie de surveillance retenue intègre l'objectif fondamental suivant : une fois l'installation souterraine fermée et scellée, le système de stockage assure les fonctions de sûreté après fermeture et à long terme et de manière passive (sans nécessité d'intervention humaine).

En lien avec la stratégie retenue, la surveillance vis-à-vis de la maîtrise de la sûreté après fermeture est mise en place dès la construction initiale. Les dispositions de surveillance mises en œuvre dès la construction puis pendant la phase de fonctionnement visent notamment à s'assurer du bon comportement des différents composants

naturel (cas de la couche du Callovo-Oxfordien) et ouvragés (cas de colis de déchets radioactifs par exemple) pendant ces phases. À titre illustratif :

- lors du creusement des ouvrages souterrains en particulier des descenderies et des puits, les caractéristiques de la couche du Callovo-Oxfordien seront confortées dans le cadre de la reconnaissance à l'avancement tout au long du déploiement de l'installation souterraine : il sera notamment vérifié que les éventuelles perturbations liées à la construction de l'installation nucléaire Cigéo n'impactent pas les fonctions fondamentales de sûreté après fermeture et que ses propriétés restent dans le domaine autorisé ;
- l'Andra sera alors en mesure de commencer la surveillance du comportement de la couche du Callovo-Oxfordien et ainsi vérifier que ses propriétés favorables sont préservées et que les perturbations en particulier mécaniques apportées par le creusement évoluent dans le domaine des valeurs retenues pour l'évaluation de sûreté après fermeture (i.e. caractérisation de la zone endommagée par le creusement) ;
- pour ce qui concerne les alvéoles et colis de stockage HA vis-à-vis de la fonction « limiter le relâchement des radionucléides et des substances toxiques chimiques et les immobiliser dans le stockage », les dispositions de surveillance visent les conditions d'ambiance de l'alvéole (température, hygrométrie et présence d'eau liquide, présence d'oxygène ou d'hydrogène), la composition chimique de l'eau liquide récupérée en tête d'alvéole, les déformations des chemisages et des colis et l'état de corrosion des conteneurs ; avant la construction des premières alvéoles, il s'agira de préciser les dispositions dédiées à cette surveillance et de justifier la représentativité de la surveillance déportée en alvéoles témoins ;
- pour ce qui concerne les alvéoles de stockage MA-VL vis-à-vis de la même fonction de sûreté, l'Andra prévoit également de surveiller les conditions d'ambiance de l'alvéole ainsi que les déformations de l'alvéole et des colis, et l'état physico-chimique des colis. Avant la construction des premiers alvéoles, il s'agira de préciser les dispositions dédiées à cette surveillance et de justifier la représentativité de la surveillance déportée en alvéoles témoins.

Alvéole témoin

Un alvéole témoin est un ouvrage de conception identique aux alvéoles de stockage qui évolue dans des conditions représentatives de ces derniers, notamment au regard des processus qu'ils permettent de surveiller (e.g. même environnement thermique, etc.). Ainsi, son fonctionnement et son comportement sont représentatifs du fonctionnement et du comportement des alvéoles de stockage dont il est le témoin.

La surveillance du fonctionnement et du comportement d'un ouvrage témoin permet d'en caractériser l'évolution qui est alors transposable à l'ensemble des ouvrages de stockage de même type. Un ouvrage « témoin » est équipé de dispositifs de surveillance qui ne nécessitent pas d'être positionnés dans l'ensemble des ouvrages de même type.

Dans le cadre de la Phipil, un alvéole témoin représentatif des alvéoles de stockage des déchets MA-VL est construit avec pour principaux objectifs la surveillance de l'évolution de la zone endommagée mécaniquement des argilites du Callovo-Oxfordien ainsi que la surveillance du comportement géomécanique du génie civil primaire et secondaire de l'ouvrage.

En ce qui concerne le quartier pilote HA, les alvéoles témoins HA, participent à confirmer et valider la capacité à surveiller et à vérifier que les alvéoles HA du quartier évoluent tel que prévu par rapport aux exigences qui leur sont attribuées. Les résultats sur ces alvéoles témoins HA du quartier pilote permettront d'ajuster si nécessaire les paramètres à surveiller, les dispositions de surveillance associées, leur nombre, leur localisation lors de la réalisation du quartier de stockage HA, voire participer à l'évolution de la conception des alvéoles s'il y a lieu.

Ainsi, l'Andra a fait le choix de réaliser dans le quartier pilote HA trois ouvrages inactifs, dits « alvéoles témoins » (cf. Figure 4-5), équipés de dispositifs permettant de surveiller l'évolution des alvéoles HA :

- alvéole témoin 1 : suivi de la déformation du chemisage (par exemple, par campagne de mesures tridimensionnelles) ;
- alvéole témoin 2 : suivi de la déformation du chemisage (par exemple par cannes de convergence) ;
- alvéole témoin 3 : suivi de la corrosion des aciers des colis et du chemisage.



Figure 4-5 Illustration de la localisation des alvéoles HA témoins du quartier pilote HA

Dans une logique de vérification et de confortation progressive de la conception et du fonctionnement de l'installation nucléaire Cigéo, la Phipil va ainsi permettre une capitalisation d'un retour d'expérience de la mise en œuvre opérationnelle de la stratégie de surveillance, *via* les résultats des dispositifs de surveillance qui seront mis dans le quartier pilote HA et les quatre premiers alvéoles MA-VL.

Ces premiers alvéoles ont un rôle important dans la capitalisation d'un retour d'expérience *via* les dispositifs de surveillance dans un objectif d'amélioration continue/optimisation en termes de protection des intérêts et de conception pour les tranches ultérieures :

- ils permettent lors de leur construction de passer à une mise en œuvre et une qualification industrielle des dispositifs de surveillance dans les conditions réelles de construction de INB Cigéo ;
- lors des premières années sans colis, la surveillance de ces ouvrages permet de vérifier le bon fonctionnement de leurs différents composants en lien avec les fonctions de sûreté et les exigences qui leur sont attribuées. Cette surveillance permet aussi de vérifier le fonctionnement des différents dispositifs et d'envisager, s'il y a lieu, des actions d'amélioration pour les constructions et exploitations suivantes ;
- ils permettent d'apporter les éléments attendus en matière de stockage des colis de déchets pour préparer les échéances décisionnelles clés du développement de l'INB Cigéo :
 - ✓ la décision de réception de premiers colis de déchets HA et MA-VL ;
 - ✓ la décision du Parlement sur les conditions de poursuite du stockage géologique sur la base du rapport des résultats de la Phipil.

Ainsi, en application de la stratégie de surveillance établie par l'Andra, la Phipil sera l'occasion de capitaliser un premier retour d'expérience et le cas échéant de proposer d'éventuelles adaptations pour les tranches ultérieures en termes de conception, de mise en œuvre, de paramètres à surveiller. Elle permettra :

- de consolider le recueil des données sur le comportement/fonctionnement des structures/composants/équipements du stockage. Il s'agira de vérifier que l'installation, construite et exploitée conformément aux plans (spécifications et mesures d'assurance de la qualité) fonctionne conformément aux exigences de protection de l'homme, de l'environnement à long terme, notamment :
 - ✓ la vérification des valeurs prises pour la démonstration de sûreté et l'évaluation de l'impact sur l'environnement ;
 - ✓ la vérification que les ouvrages construits évoluent tels que prévus ;
 - ✓ la confirmation des modèles d'évolution des processus intervenant dans les ouvrages souterrains retenus notamment dans l'évaluation de sûreté après fermeture et identifier les éventuelles dérives ;
- de capitaliser les résultats de suivi des paramètres clés²⁶ en lien avec la démonstration de sûreté après fermeture (via des mesures directes ou indirectes) et le cas échéant la prise de décision en regard de ces résultats. Au travers des retours d'expérience au fur et à mesure du développement progressif, il s'agira ainsi d'apporter l'ensemble des acquis de la surveillance permettant de :
 - ✓ consolider les choix retenus dans la démonstration de sûreté et de l'évaluation de l'impact sur l'environnement (on tend vers une installation construite en lieu et place d'une installation conçue) ;
 - ✓ participer à l'optimisation technico-économique de l'installation ;
 - ✓ supporter les futures décisions à chaque étape clé, y compris pour améliorer les modèles et/ou pour faire évoluer la conception (i.e. synthèse de la phase industrielle pilote, construction de nouvelles alvéoles...) ;
- d'optimiser le programme de surveillance pour les phases ultérieures.

²⁶ Au stade du dossier de DAC, les paramètres-clés qui feront l'objet d'une surveillance sont sélectionnés en lien avec la démonstration de sûreté après fermeture qui s'appuie sur l'analyse de la connaissance (et incertitudes résiduelles de ces connaissances) des processus thermique, hydraulique, mécanique, chimique, radiologique et biologique qui régissent l'évolution des composants importants pour la protection des intérêts.

 OBJECTIF

Déployer progressivement la surveillance

- Consolider les acquis sur le comportement/fonctionnement des structures/composants/ équipements du stockage pendant la construction initiale puis pendant les quelques années de l'exploitation
- Déployer le programme de surveillance de l'environnement
- Optimiser le programme de surveillance pour les phases ultérieures sur la base de la capitalisation des résultats de suivi des dispositifs de mesures (directe ou indirecte)

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Conformité des résultats attendus du programme de surveillance
- Démonstration de sûreté en exploitation et après fermeture consolidées (i.e. consolidation de l'état de la connaissance sur le comportement phénoménologique du système de stockage, réduction des incertitudes sur la connaissance)
- Bilan de la Phipil intégrant le REX de la surveillance de l'installation et de l'environnement

 MOYENS

- Avant le début des travaux de creusement :
 - ✓ consolidation des dispositions permettant de caractériser l'état initial avant et après creusement du « Callovo Oxfordien » et du suivi de son évolution.
 - ✓ consolidation des paramètres à surveiller en lien avec la démonstration de sûreté après fermeture
 - ✓ consolidation de la stratégie de surveillance, en particulier la surveillance déportée en alvéole témoin MA-VL, en précisant les paramètres effectivement suivis et les dispositions de surveillance in fine retenus
- Avant la mise en service, campagne de caractérisation de l'état initial radiologique et chimique de l'environnement
- Mise en œuvre du programme de surveillance de l'installation et l'environnement (dont les paramètres clés) pendant la phase de construction initiale puis après la mise en service
- Analyse et capitalisation des résultats de la surveillance pour la mise en service puis pour le bilan de la Phipil

5. Les objectifs et critères de réussite de la Phipil en lien avec les spécificités de l'INB Cigéo

5.1 Cigéo, une INB avec des spécificités

L'introduction dans le déploiement progressif de Cigéo de la Phipil est liée particulièrement aux grands enjeux qui sous-tendent la mise en sécurité sur de très longues échelles de temps des déchets les plus radioactifs et, en conséquence, aux spécificités de Cigéo par rapport aux autres INB, que sont :

- **une phase de long terme après fermeture**, comme pour toute INB consacrée au stockage de déchets radioactifs au sens de l'article L. 542-1-1 et en application de l'article R. 593-16-II du code de l'environnement ;
- une présentation des dispositions prévues pour assurer **le caractère réversible du stockage en couche géologique profonde** ainsi que le prescrit l'article L. 542-10-1 en application de l'article R. 593-16-III, alinéa 3 du code de l'environnement.

Ces spécificités se traduisent en premier lieu par :

- de **grandes échelles temporelles**, celles en lien avec la sûreté après fermeture du stockage (échelle de la centaine de milliers d'années au million d'années), mais également la durée d'ordre séculaire de déploiement progressif et de fonctionnement de l'installation ainsi que de la réversibilité ;
- des **échelles spatiales et dimensionnelles inhabituelles**, en particulier du fait de l'implantation des ouvrages de stockage en profondeur et des longueurs d'ouvrages de stockage pluri-métriques et galeries plurikilométriques.

S'agissant de la dimension spatiale, l'ensemble des différents types d'ouvrages représentatifs du stockage à terminaison sont construits et mis en jeu durant la Phipil : les ouvrages de liaison surface-fond (puits et descenderie), le quartier MA-VL avec la « boucle » et les 4 premiers alvéoles, un quartier pilote HA représentatif du quartier de stockage HA, les zones de soutien logistique, ainsi que les démonstrateurs de scellements, composants spécifiques de la sûreté après fermeture (voir figure 2-5 et figure 2-6).

La réalisation du quartier de stockage HA prévu à l'horizon de 2080 ainsi que des ouvrages de fermeture des quartiers de stockage et des liaisons-surface fond ne sont pas prévus pendant la Phipil. En revanche, comme indiqué ci-dessus, les démonstrateurs de scellements et le quartier pilote HA prévus pendant la Phipil permettront d'acquérir un retour d'expérience important.

La Phipil met également en jeu un large périmètre du milieu géologique : l'ensemble des formations géologiques sus-jacentes à la couche du Callovo-Oxfordien sont traversées par les puits et descenderies, ainsi que la couche du Callovo-Oxfordien elle-même. Les installations fond couvrent au sein de la couche du Callovo-Oxfordien une superficie de quelques km², soit environ 20 % de la superficie de l'installation fond à terminaison.

Aucune installation n'est envisagée dans la zone d'implantation du quartier de stockage HA (à l'exception des amorces de galeries vers le futur quartier HA) ou au-delà de la boucle MA-VL.

S'agissant de la dimension temporelle, la durée de la Phipil telle que proposée par l'Andra permet de couvrir l'ensemble des opérations de construction des ouvrages de la première tranche et pendant les premières années de fonctionnement. En outre, les travaux, expérimentations et démonstrateurs complémentaires déjà en place ou prévus, que ce soit en surface ou dans le Laboratoire souterrain qui se poursuivent durant la Phipil, permettent d'accéder à des durées de plusieurs dizaines d'années.

Par définition, la majorité des processus d'évolution phénoménologique qui concourent à la sûreté à long terme s'inscrivent sur de grandes échelles de temps, au-delà de la période d'exploitation, donc de la Phipil, étant donné le choix de la profondeur importante du stockage (qui l'isole des évolutions de surface sur le long terme), le choix de la roche hôte argileuse qui assure un environnement stable ou très peu évolutif et les choix de conception qui tirent parti des caractéristiques favorables de la roche hôte et en garantissent la pérennité. Par nature, la Phipil ne permet pas d'accéder à ces grandes échelles de temps de l'après fermeture.

Enfin, la mise en stockage durant la Phipil des colis de déchets (HA et MA-VL) tels que proposés au § 2.3.1 est représentative de l'inventaire de référence, tant en termes de modalités de stockage que de processus phénoménologiques (à l'exception des déchets bitumés dont l'autorisation de stockage en Phipil n'est pas demandée par l'Andra).

5.2 Conforter le fonctionnement phénoménologique du stockage et du milieu géologique environnant

Les phases de construction et d'exploitation concourent à la maîtrise de la sûreté à long terme, ce qui sera observé, notamment le comportement de la roche hôte du Callovo-Oxfordien, en particulier autour des ouvrages souterrains, et ce qui ne sera pas observé, plus particulièrement car correspondant à de longues échelles de temps, permettront de s'assurer que l'évolution du stockage observée est conforme à ce qui a concouru à la démonstration de sûreté et à la capacité de récupérabilité des colis de déchets.

Les processus d'évolution phénoménologique du système de stockage et de son milieu géologique environnant, qui sous-tendent la sûreté après fermeture²⁷ sont mis en jeu dès la Phipil. Ils le seront à différentes échelles temporelles, et pour l'essentiel rapidement (instantané à quelques mois, quelques années). Ces processus s'inscrivent également à différentes échelles spatiales (colis de stockage, alvéoles de stockage, galeries, quartiers de stockage, ouvrages d'accès, installation souterraine dans son ensemble, couche géologique du Callovo-Oxfordien en champ proche des ouvrages souterrains, Callovo-Oxfordien en grand, milieu géologique).

À titre illustratif, quelques processus phénoménologiques pour différents ouvrages, précisant leurs échelles spatiale et temporelle sur la durée de la Phipil, sont présentés dans les encadrés ci-après.

²⁷ Ainsi que la capacité de récupérabilité des déchets au travers du domaine de fonctionnement des ouvrages et des colis dans le temps.

Processus thermiques du quartier pilote HA et du Callovo-Oxfordien environnant

Description conceptuelle du processus

Au niveau du **quartier pilote HA**, une fois mis en place, le dégagement de chaleur émis par les colis de stockage se propage d'abord au sein de l'alvéole puis progressivement radialement au sein du Callovo-Oxfordien.

Au sein de l'alvéole, la propagation de la chaleur est principalement radiale.

Au sein du Callovo-Oxfordien, ce dégagement de chaleur entraîne une augmentation de température dans l'argilite saturée, engendrant une augmentation de la pression (due à la différence entre les coefficients de dilatation thermique de l'eau et du squelette solide de la roche) et une contrainte thermomécanique due à la déformation thermique. Le dimensionnement thermique/thermo-hydrau-mécanique des alvéoles et des quartiers de déchets exothermiques vise à ne pas atteindre un niveau de contraintes pouvant conduire à un endommagement de la roche afin de préserver les propriétés favorables du Callovo-Oxfordien.

À l'échelle d'un alvéole de stockage HA du quartier pilote HA

- Augmentation progressive de la température jusqu'à des valeurs de l'ordre de 35-40 °C au sein de l'alvéole
- Atteinte d'un maximum de l'ordre de 40-45 °C en paroi de colis entre 20 et 30 ans après la mise en place des colis et de quelques °C environ, 10 ans après la mise en place des colis, en tête d'alvéole (figure 5-1)

À l'échelle du quartier pilote HA et du Callovo-Oxfordien environnant

- Au fur et à mesure du remplissage des alvéoles et au bout de quelques années, le front thermique atteint le demi-entraxe entre alvéoles avec atteinte du maximum de température, de l'ordre de 40 °C, entre 20 et 30 ans après la mise en place des colis (figure 5-1).
- Augmentation de la contrainte thermomécanique et de la contrainte effective dans le Callovo-Oxfordien avec atteinte du maximum de contrainte effective environ 20-30 ans après la mise en place des colis (figure 5-2)
- Faible élévation de la température de l'air de ventilation au niveau de la galerie d'accès (de l'ordre de quelques °C)
- Élévation de la température dans le soutènement/revêtement de la galerie d'accès de l'ordre de 5-10 °C

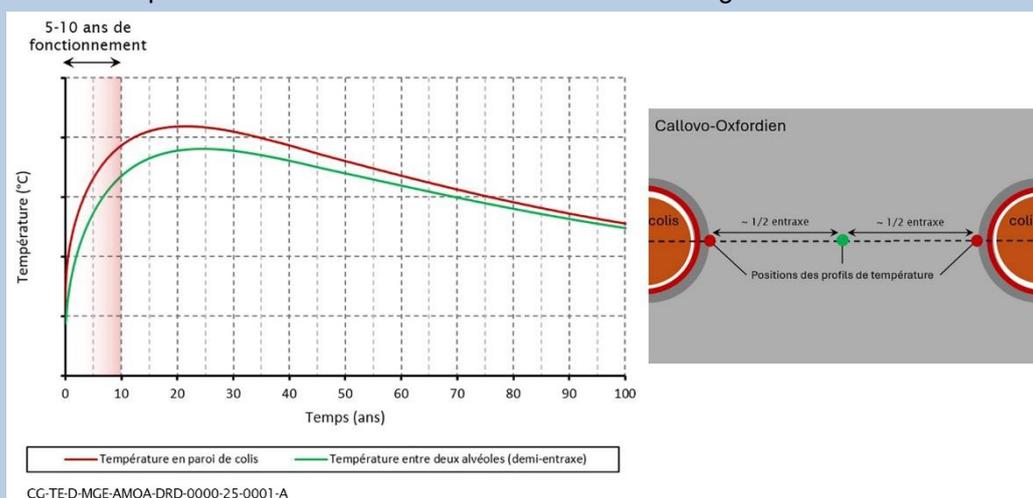


Figure 5-1

Illustration de l'évolution de la température en paroi de colis (courbe rouge) et entre deux alvéoles (courbe verte) pour un alvéole du quartier pilote HA, depuis la mise en place du colis jusqu'à la fermeture du stockage

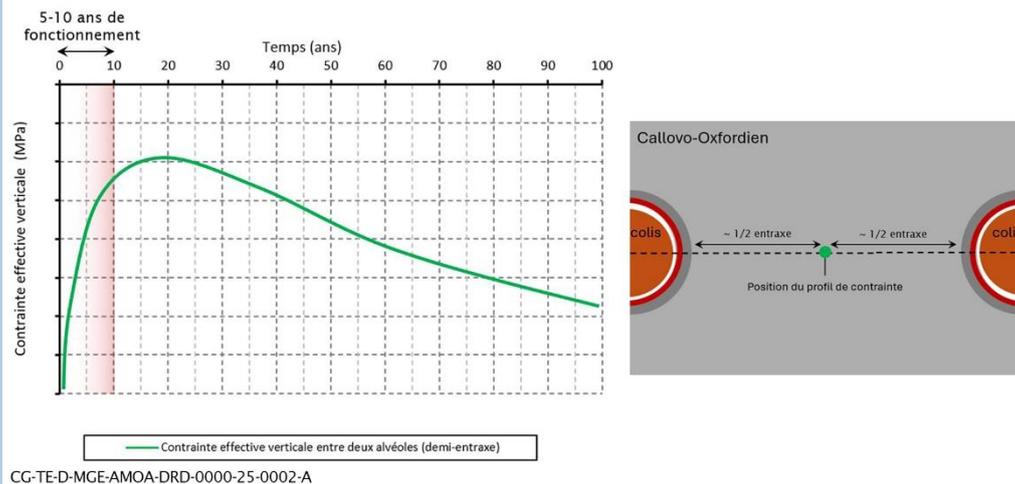


Figure 5-2

Illustration de l'évolution de la valeur de contrainte effective verticale entre deux alvéoles pour des alvéoles du quartier pilote HA, depuis la mise en place du colis jusqu'à la fermeture du stockage

Processus hydrauliques d'un alvéole ou d'une galerie

Description conceptuelle du processus

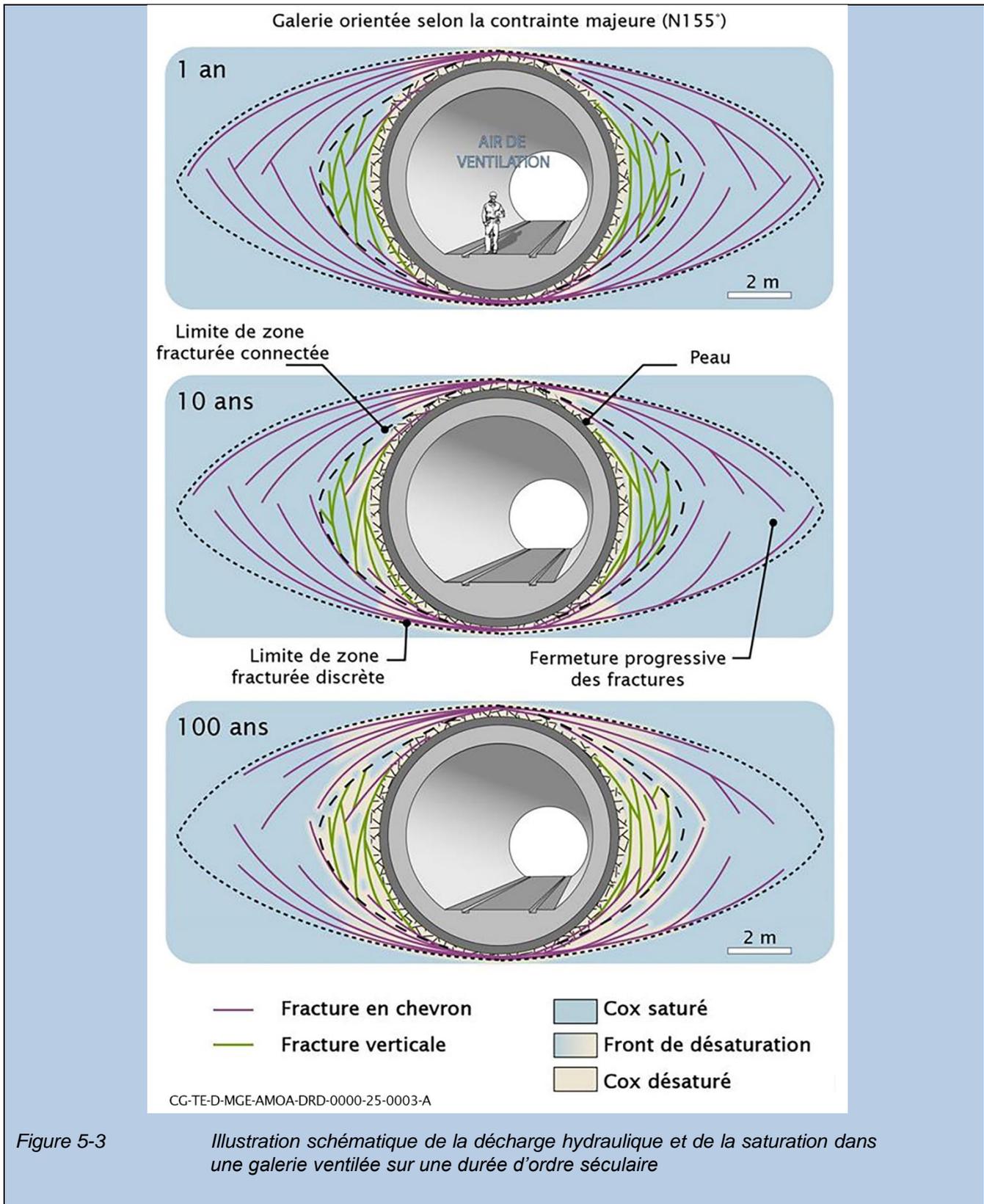
Le creusement des ouvrages entraîne instantanément une décharge hydraulique autour de l'excavation. L'air de ventilation (provenant de la galerie dans le cas des alvéoles du quartier pilote HA), entraîne la désaturation de la zone endommagée par le creusement autour de l'ouvrage, pilotée par la présence de fractures (Figure 5-3).

Dans le Callovo-Oxfordien, la perméabilité est très faible et le milieu ne peut pas fournir l'eau nécessaire pour éviter une désaturation. Cette désaturation est d'autant plus importante que l'hygrométrie de l'air de ventilation est faible ; elle est donc maximale dans les zones contenant des déchets exothermiques ou dont la température de l'air de ventilation est influencée par la thermique des déchets (cas des alvéoles du quartier pilote HA).

Le phénomène de désaturation reste un phénomène localisé en champ proche des ouvrages.

À l'échelle de l'ouvrage et de la zone

- Décharge hydraulique autour de l'excavation et désaturation de la zone endommagée avec atteinte de la limite de la zone fracturée après quelques mois, puis avec une cinétique décroissante pour atteindre un régime pseudo-permanent en quelques dizaines d'années :
 - ✓ pour les alvéoles HA du quartier pilote HA, décharge hydraulique et désaturation à proximité de la galerie d'accès plus importante en lien avec la ventilation, avec une extension de l'ordre de quelques dizaines de centimètres ;
 - ✓ pour les autres types d'ouvrages, décharge hydraulique et désaturation du Callovo-Oxfordien en champ proche avec atteinte d'une extension de l'ordre de quelques décimètres à un mètre (correspondant à la zone endommagée).
- Indépendance hydraulique entre ouvrages adjacents
- Désaturation des bétons de génie civil des ouvrages concernés jusqu'à 50-70 %



Processus mécaniques d'un alvéole MA-VL ou d'une galerie

Description conceptuelle du processus

Le creusement des ouvrages souterrains induit un endommagement local du Callovo-Oxfordien en champ proche immédiat des ouvrages, dont l'orientation dépend de l'orientation des ouvrages.

Les déformations initiales sont importantes dès le passage du front de creusement, suivi d'une phase « court terme » d'environ quelques mois, caractérisée par des vitesses de déformations différées rapides, puis une diminution progressive des vitesses au cours du temps (comportement asymptotique) (figure 5-4).

La fracturation induite par le creusement se développe très peu, voire pas du tout sur la durée de la Phipil :

- Extension de la zone fracturée anisotrope de l'ordre du diamètre de l'ouvrage se développant très peu sur la durée de la Phipil ;
- Perturbations mécaniques de quelques mètres d'extension restant en champ proche des ouvrages ;
- Convergences du terrain sur la durée de la Phipil, avec vitesses de déformations différées diminuant progressivement, conduisant au chargement du soutènement/revêtement de l'ouvrage ;
- Indépendance mécanique des ouvrages ;
- En lien avec l'augmentation limitée de température à l'échelle de certains alvéoles MA-VL contenant des déchets faiblement exothermiques, peu d'évolution de la pression interstitielle, des contraintes thermomécaniques et des contraintes effectives dans le Callovo-Oxfordien.

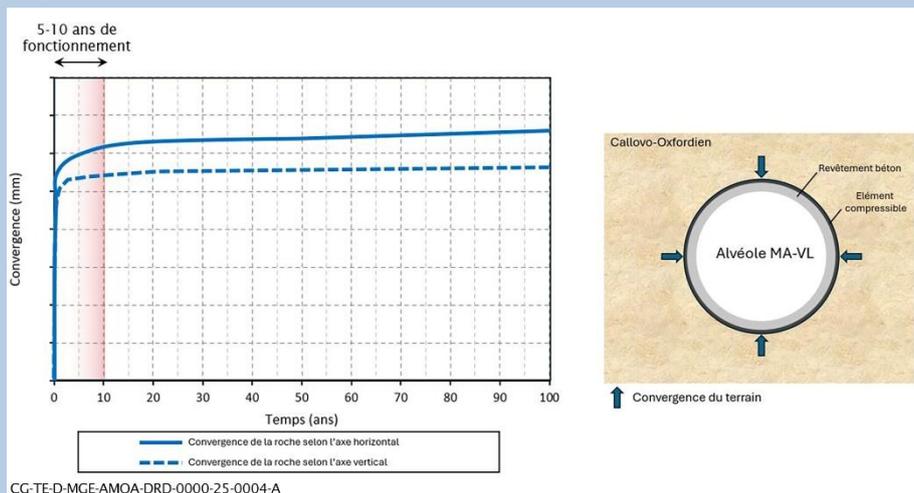


Figure 5-4

Illustration de la convergence du terrain depuis le creusement de l'ouvrage jusqu'à une durée d'ordre séculaire

Processus chimiques de l'alvéole HA, du quartier pilote HA et du Callovo-Oxfordien environnant

Description conceptuelle du processus

Les processus chimiques sont globalement (très) lents à se développer et sont (très) limités ; ils s'inscrivent sur les moyens et longs termes, au-delà de la phase de fonctionnement de Cigéo, donc *a fortiori* de la Phipil, en lien notamment avec les propriétés de la roche hôte (très faible circulation d'eau en lien avec la très faible perméabilité de la roche).

À l'échelle de l'alvéole HA

- Initiation de l'**oxydation** des argilites de la zone endommagée au voisinage des ouvrages exposés à l'air suite à leur excavation, devenant perceptible quelques mois après le creusement de l'alvéole dans les fractures de la zone endommagée, puis commencent à apparaître dans les fractures en cisaillement plus profondes dans les premières années qui suivent l'excavation
- Cinétique de **corrosion** des composants métalliques de l'alvéole (chemisage, conteneur) très lente, de l'ordre du $\mu\text{m}/\text{an}$ conduisant à une corrosion très limitée sur la durée de la Phipil (bien inférieure à la centaine de μm)
- **Dégradation chimique** limitée du matériau cimentaire à l'extrados du chemisage
- **Perturbation alcaline dans le Callovo-Oxfordien** en champ proche des alvéoles conduisant à une extension très limitée à l'échelle de la durée de la Phipil (processus lent), de l'ordre de la centaine de microns au maximum

À l'échelle du quartier pilote HA

- Perturbations physico-chimiques, limitées au champ proche des alvéoles sur la durée de la Phipil, n'impactant pas le Callovo-Oxfordien en grand au droit du quartier pilote HA

Les données acquises et observées pendant la Phipil permettront de conforter l'état initial du milieu géologique et du stockage au sens large ainsi que la représentation des grands processus phénoménologiques initiaux qui déterminent pour beaucoup le fonctionnement à moyen et long terme du stockage, du milieu géologique et du site d'accueil. La Phipil permettra ainsi de conforter la vision globale du fonctionnement phénoménologique et les prévisions à long terme sur le comportement du stockage, et plus globalement du système de stockage dans son ensemble. La Phipil permettra également de conforter, consolider et mettre à jour le modèle géologique 3D et réduire les incertitudes associées, permettant la projection de la capacité à déployer les tranches ultérieures et la justifiant.

Le système de stockage [23]

Le système de stockage concerne la phase après fermeture. Il comprend trois grandes catégories de composants :

- la couche du Callovo-Oxfordien (composant central vis-à-vis de la sûreté après fermeture) , formation hôte dans laquelle sont implantées les zones de stockage ;
- l'installation souterraine (telle que construite et dans laquelle sont stockés les colis de déchets radioactifs à la fin de la phase de fonctionnement) remblayée et scellée ;
- les ouvrages de fermeture de l'installation souterraine qui sont de deux types :
 - ✓ des « scellements » qui correspondent à des ouvrages de faible perméabilité implantés de manière locale dans des galeries et les liaisons surface-fond. Ces scellements ont comme objectif de s'opposer à la circulation d'eau dans le stockage pour éviter qu'elle ne constitue un facteur d'altération des déchets et un vecteur de migration des radionucléides ;
 - ✓ des remblais qui ont pour but de limiter les déformations à long terme de la couche du Callovo-Oxfordien, afin d'en préserver les caractéristiques.

Dans le cadre des boucles d'itérations entre les avancées de connaissance, et la démonstration comme cela a déjà été réalisé en phase de conception, les résultats obtenus pendant la construction initiale, seront analysés en regard notamment des hypothèses retenues en vue de la mise à jour de la démonstration de sûreté après fermeture. Cette analyse répond au principe d'amélioration continue.

La Phipil permettra également de conforter les éléments relatifs à la tenue des ouvrages souterrains, notamment des alvéoles de stockage, par les contrôles à réalisation et la surveillance de leur comportement (déformation éventuelle, sollicitation mécanique, comportement des matériaux constitutifs béton et acier...) (cf. § 4.4). Par exemple, la surveillance des déformations des revêtements/soutènements des galeries ou du chemisage des alvéoles HA donnant des valeurs et des évolutions dans le temps conformes au domaine de fonctionnement. À ce titre, la Phipil participe également au confortement de la capacité de récupérabilité des colis de déchets.

Une première déclinaison de certains objectifs de la Phipil relatifs à la confortation des caractéristiques initiales de la roche hôte et du comportement du stockage et du milieu géologique environnant pour la démonstration de sûreté après fermeture est proposée dans les paragraphes suivants (respectivement § 0 et 0). Une déclinaison des objectifs de la Phipil relatifs à la démonstration de la capacité de fermeture du stockage tant en termes de faisabilité des ouvrages de fermeture que de leur fonctionnement phénoménologique est esquissée au § 0.

A titre illustratif, la reconnaissance géologique à l'avancement du creusement des ouvrages permettra de conforter au fur et à mesure du creusement et sur un large volume, les caractéristiques du Callovo-Oxfordien, pilier de la sûreté du stockage sur le long terme, qui fondent la conception et la démonstration de sûreté. La reconnaissance à l'avancement du Callovo-Oxfordien lors de la phase de construction initiale visera ainsi à s'assurer que les paramètres du Callovo-Oxfordien qui fondent la conception et la démonstration de sûreté sont dans le domaine garantissant l'atteinte des objectifs de sûreté.

- La reconnaissance géologique au niveau des puits, avec par exemple, des forages d'investigations géologiques complémentaires réalisés dans l'axe du puits, préalablement à son creusement permettront i) la confortation du modèle géologique selon l'axe vertical, notamment les épaisseurs et profondeurs des différentes couches, et en particulier la profondeur du toit de la couche du Callovo-Oxfordien, et leurs caractéristiques géologiques ; et ii) le « calage » du niveau d'implantation horizontal du stockage pour le

déploiement des ouvrages souterrains de la T1, en lien notamment avec le respect de l'exigence de garde verticale d'argilites saines.

- La reconnaissance géologique à l'avancement du creusement de la « boucle MA-VL », avec par exemple, des forages à l'avant du front dans l'axe de l'ouvrage, des observations, des prélèvements et analyses sur échantillons permettront i) de conforter les caractéristiques géologiques au niveau d'implantation du stockage et sur tout le périmètre du quartier MA-VL, soit sur une large surface et ii) de conforter le dimensionnement des soutènements/revêtements des alvéoles MA-VL et de leurs plans de chargement, en lien notamment avec les taux de vides résiduels et le respect de l'exigence de garde d'argilites saines.



OBJECTIF

Conforter les caractéristiques initiales du site et, en particulier, celles de la couche du Callovo-Oxfordien, qui fondent la sûreté après fermeture

- Conforter les connaissances du Callovo-Oxfordien retenues pour le dimensionnement des ouvrages et les évaluations quantitatives de sûreté à long terme
- S'assurer du respect des exigences associées à l'implantation du stockage dans l'environnement tridimensionnel des formations géologiques

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Caractéristiques et valeurs de paramètres confortées et restant dans le domaine garantissant l'atteinte des objectifs de sûreté après fermeture
- Implantation des ouvrages souterrains respectant les exigences en lien avec la démonstration de sûreté (i.e. épaisseur de garde saine verticale minimale)



MOYENS

- Mise en œuvre de l'ensemble de méthodes de caractérisations variées et complémentaires, éprouvées (notamment au Laboratoire souterrain), comme par exemple, des forages préalables au creusement dans l'axe des ouvrages, les observations au front de creusement, les essais sur échantillons...
- Reconnaissance géologique au fur et à mesure du creusement des ouvrages souterrains de la tranche initiale de construction (tranche T1) sur un large volume (avec notamment les liaisons surface-fond et la « boucle » du quartier de stockage MA-VL), concourant à leur représentativité dans une logique d'extrapolation à l'architecture à terminaison et permettant de disposer d'une cartographie complète de ces propriétés au plus près des ouvrages souterrains et des colis de déchets.

5.2.1 Conforter le comportement des ouvrages souterrains et de la formation du Callovo-Oxfordien au regard du maintien de leurs fonctionnalités

La sûreté après fermeture de l'INB Cigéo doit être garantie de manière passive, c'est-à-dire sans nécessité d'intervention humaine après fermeture et sur le long terme. Elle repose sur la maîtrise de la connaissance (y compris les incertitudes résiduelles) des processus d'évolution phénoménologique en particulier du Callovo-Oxfordien, composant central de la protection à long terme de l'homme et de l'environnement. La Phipil permettra notamment de conforter, consolider et mettre à jour les lois de comportement mécanique des argilites du Callovo-Oxfordien et réduction des incertitudes associées, justifiant des choix de conception vis-à-vis de la durabilité des ouvrages et de la récupérabilité et de la démonstration de sûreté après fermeture et permettant la projection pour le déploiement des tranches ultérieures.

La surveillance du comportement phénoménologique, notamment des ouvrages souterrains, et de leur environnement géologique pendant la Phipil, permettront de conforter les éléments de connaissance qui ont concouru à la conception²⁸ et à la démonstration de sûreté en exploitation et après fermeture présentés au stade

²⁸ Y compris en termes de domaine de fonctionnement des ouvrages dans le temps en lien avec la capacité de récupérabilité des colis de stockage.

de la DAC. A titre illustratif, la surveillance du comportement mécanique des argilites du Callovo-Oxfordien en paroi du démonstrateur d'alvéole MA-VL permettra de consolider les caractéristiques de la zone endommagée initiale en paroi de l'ouvrage et l'évolution des convergences et déformations du terrain dans le temps.



OBJECTIF

Conforter le comportement des ouvrages souterrains et de la formation du Callovo-Oxfordien au regard du maintien de leurs fonctionnalités

- Montrer la maîtrise de l'endommagement mécanique du Callovo-Oxfordien au pourtour des ouvrages souterrains par les creusements et confirmer que le modèle d'endommagement et le comportement du revêtement en interface avec la roche est compatible avec (i) la démonstration de sûreté (notamment la garde d'argilites saine verticale), (ii) les exigences de durabilité et (iii) la préservation des capacités de retrait sur une durée séculaire
- Confirmer en conditions réelles et sur une première période temporelle permettant de vérifier que les conditions d'évolution des ouvrages et du milieu géologique perturbé s'inscrivent dans la trajectoire d'évolution attendue au regard des fonctions spécifiques à chaque type d'ouvrage et des concepts/dimensionnements prudents retenus (et quantifier les marges pour préparer les optimisations futures)

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Caractéristiques et valeurs de paramètres reconnues/mesurées s'inscrivant dans le domaine garantissant l'atteinte des objectifs de sûreté après fermeture, les exigences de durabilité et la préservation des capacités de retrait sur une durée séculaire



MOYENS

- Mise en œuvre du programme de surveillance de l'installation (cf. § 4.4), incluant notamment le programme de suivi du comportement des ouvrages et de la roche en paroi des ouvrages :
 - ✓ sur des ouvrages représentatifs des différents types d'ouvrages prévus pour l'INB Cigéo
 - ✓ sur une durée permettant de conforter les modèles de comportement de la roche et des matériaux constitutifs des ouvrages retenus dans la conception et les évaluations quantitatives de sûreté
- Mise en œuvre des méthodes et dispositifs de caractérisation opérationnels et éprouvés (notamment au Laboratoire souterrain), comme par exemple, des sections géomécaniques instrumentées, des observations, des prélèvements et analyses sur le vieillissement des matériaux...

5.2.2 Préparer la fermeture de l'installation souterraine

La faisabilité des ouvrages de fermeture correspond à un élément de connaissances à conforter progressivement durant la Phipil et à justifier au Parlement pour qu'il puisse fonder sa décision relative.

Pour cela, la Phipil intègre des composants spécifiques de la sûreté après fermeture que sont les scellements [9], avec la mise en œuvre de deux démonstrateurs de scellements (un démonstrateur de scellement de descenderie et un démonstrateur de scellement de galerie – cf. § 2.3.2).

La logique de déploiement de l'architecture souterraine conduit à une mise en œuvre des ouvrages de fermeture dans l'installation souterraine avec une temporalité lointaine (plusieurs décennies pour les ouvrages de fermeture horizontaux et séculaire pour les ouvrages de liaison surface-fond). Cette temporalité laisse la possibilité de continuer à développer les meilleures techniques disponibles parmi plusieurs options en vue de la demande de fermeture sans figer dès la phase de construction initiale une seule solution.

Cette démarche se décline par la poursuite de jalons de développement scientifique et technique de toutes natures (expérimentaux, modélisation, caractérisation...) se succédant et complétant l'ensemble des jalons de développement antérieurement déjà franchis. Ce programme se matérialise par des essais d'envergure menés au Laboratoire souterrain et s'inscrivent dans la logique (i) d'accroître le niveau de représentativité des essais dans les conditions industrielles d'un chantier souterrain et à une échelle proche de celle attendue dans l'installation souterraine de l'INB Cigéo et (ii) d'éclairer le choix des concepts de démonstrateurs de scellements prévus lors de la construction initiale de l'installation souterraine au regard de la performance des différents concepts testés.

De plus, cette démarche permet de construire un retour d'expérience significatif sur des durées d'acquisition expérimentales et de suivis très longues (typiquement *a minima* de l'ordre de la décennie) *via* un programme s'appuyant successivement sur des essais au Laboratoire souterrain puis en augmentant encore le niveau de représentativité par la construction de démonstrateurs à l'échelle 1 au sein de l'installation souterraine de l'INB Cigéo avant d'engager la mise en œuvre de ces ouvrages en situation réelle au moment de sa fermeture.

Pour compléter ce programme de développement et de montée en maturité à un niveau opérationnel, les démonstrateurs de scellements prévus dès la Phipil constitueront une nouvelle phase d'activités technologiques (construction, mises en place des matériaux, recette...) et d'observations permettant (i) de conforter la faisabilité industrielle et l'atteinte des performances visées et (ii) de conforter la bonne trajectoire en termes de comportement (resaturation, gonflement...) qui permettra d'emporter la conviction de la capacité à fermer l'installation et de répondre aux demandes des évaluateurs après une phase d'observation plus longue, proche du siècle (selon le schéma de fermeture proposé dans le dossier de DAC) et *a minima* de plusieurs décennies si la décision de fermer l'installation plus tôt était prise.

Ces objectifs se déclinent en deux objectifs plus opérationnels :

- du point de vue de la faisabilité industrielle, les enjeux portent sur les techniques de construction des ouvrages de fermeture compatibles avec les exigences de sécurité d'un chantier en souterrain et de contrôle de l'état de la roche à leur pourtour avec la vérification de sa conformité au domaine attendu (en particulier la zone endommagée) ;
- du point de vue du fonctionnement et de la performance des ouvrages de fermeture dans le temps, en initiant la resaturation, il s'agit d'acquérir un premier retour d'expérience en situation réelle et/ou représentative de fonctionnement et en pleine échelle et montrer la capacité à se mettre sur la trajectoire attendue pour la fermeture hydraulique d'une portion de galerie et de descendrie. L'atteinte de la saturation complète et de l'expression complète du potentiel de gonflement (et donc la fermeture hydraulique de la galerie) s'inscrit dans une temporalité qui dépasse celle de la Phipil. La Phipil constitue donc une première phase d'observation permettant d'identifier des éventuels écarts de comportement par rapport à la trajectoire attendue.

Les résultats sur les démonstrateurs pendant la Phipil vont permettre de fournir un premier retour d'expérience sur les scellements et ainsi de conforter la solution technique ainsi que la démonstration de sûreté après fermeture.

 OBJECTIF

Préparer la fermeture de l'installation souterraine

- Conforter la maîtrise de la réalisation d'un scellement (modalités de construction, méthode industrielle) sur la base de démonstrateurs
- Conforter le comportement des scellements sur la base de démonstrateurs
- Consolider le concept de référence complet pour chaque type de scellement (puits, descenderies et galeries)

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Démonstrateurs de scellement réalisés
- Capitalisation du retour d'expérience de la réalisation des scellements et de l'observation de leur comportement²⁹ présentée sous forme de synthèse dans le bilan de la Phipil

 MOYENS

- Consolidation des concepts de référence avant la mise en place des démonstrateurs
- Mise en place de deux types de démonstrateurs en lien avec la nature des liaisons surface-fond :
 - ✓ Démonstrateur de scellement au niveau des descenderies ;
 - ✓ Démonstrateur de scellement au niveau d'une galerie.
- Mise en place d'une instrumentation dans les tronçons représentatifs dans un objectif de mesurer les grandeurs en lien avec le comportement attendu et caractérisation de la zone endommagée au droit des zones de dépôt du revêtement/soutènement

5.3 Conforter la réversibilité de l'INB Cigéo

Conformément à la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006, le stockage doit être conçu pour être réversible. L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement a défini cette notion en indiquant que « *la réversibilité est la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion.* »

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

La Phipil constitue un premier outil de déclinaison de la réversibilité selon ses quatre volets : progressivité, flexibilité, adaptabilité et récupérabilité³⁰.

Les objectifs et critères associés indiqués dans les chapitres précédents concourent également par nature à vérifier et conforter le fonctionnement sûr de l'installation, condition nécessaire à la flexibilité et à l'adaptabilité.

²⁹ incluant en termes opérationnels, la réalisation depuis le retrait des portions de revêtement/soutènement jusqu'à la mise en œuvre des massifs d'appuis en béton et/ou remblais, incluant les moyens d'auscultations préalable de la roche et le contrôle de la bonne exécution des travaux, ainsi que la qualification des matériaux et des composants.

³⁰ Comme indiqué dans l'objet du document (chapitre 1), le principe de réversibilité en termes de gouvernance du projet Cigéo destinée à associer les parties prenantes sur le temps long aux différentes décisions, du ressort de l'Andra, concernant le développement de l'INB Cigéo n'est pas développé dans le présent document. En particulier, les « revues périodiques de réversibilité » appelées par le code de l'environnement (article L. 542-10-1) ne sont pas réabordées ici ; cf. § 0.

Concernant le volet récupérabilité, la démonstration de la récupérabilité des colis de déchets stockés correspond à un élément fondamental de connaissance à conforter progressivement en Phipil.

Les enseignements de la mise en œuvre des quatre volets de la réversibilité pendant la Phipil permettront au Parlement d'adapter, si besoin, ses conditions d'exercice pour la poursuite de Cigéo si la décision de cette poursuite est prise.

5.3.1 Apporter un retour d'expérience pour le déploiement progressif

L'INB Cigéo présente en premier lieu une spécificité en termes de construction progressive correspondant à un déploiement par tranches successives sur une durée d'ordre séculaire. Ce déploiement progressif permet d'adapter l'installation et d'intégrer des évolutions. La progressivité de la construction et des mises en services successives donnera le temps à l'Andra en tant qu'exploitant de l'INB de favoriser l'intégration aux futures tranches de construction, de toutes les améliorations de connaissances qui seront rendues possibles par les progrès scientifiques et techniques pour optimiser le stockage au sens large ou choisir la meilleure solution de stockage (cas des déchets bitumés pour lesquels deux voies de gestion en stockage sont considérées à ce stade). Ainsi, dès lors qu'une meilleure solution technique aura été développée et aura atteint un degré de maturité technologique suffisant, elle pourra, sous réserve de son autorisation, être intégrée aux ouvrages à construire.

L'existence même de la Phipil et le fait qu'elle comporte elle-même une logique de progressivité (phase de construction initiale puis une phase de fonctionnement sur une durée limitée) répond en soi à l'objectifs de déploiement progressif.

À ce titre, la construction et l'exploitation du quartier pilote HA dès la Phipil, permet de disposer d'un retour d'expérience précieux pour la définition technique, la construction, l'exploitation du quartier de stockage HA qui sera mis en œuvre à l'horizon 2080. Les colis « HA0 » du quartier pilote HA sont moins exothermiques que les colis HA destinés au quartier de stockage HA, mais leur mise en stockage sera caractérisée par un même processus d'élévation de température. Ils doivent également respecter la même exigence de préservation des caractéristiques favorables du Callovo-Oxfordien, en garantissant une température maximale dans la roche en dessous de 100°C. La température maximale attendue dans les alvéoles du quartier pilote HA est un peu plus faible que celle attendue dans les alvéoles du quartier HA mais suffisamment élevée pour être représentative du processus d'évolution des alvéoles HA et du Callovo-Oxfordien environnant, ainsi que des opérations de mise en stockage et de retrait.

De même, l'optimisation technico économique de la conception ainsi que l'amélioration continue des dispositions prises pour sa sûreté s'appuieront :

- sur la poursuite de la veille scientifique et technologique pendant la Phipil (déjà mise en place pendant la phase de conception) ;
- sur la poursuite des expérimentations scientifiques et technologiques menées, notamment au Laboratoire souterrain ;
- sur les enseignements de la construction initiale ;
- sur les enseignements de l'exploitation limitée à la Phipil.

5.3.2 Tester la flexibilité de l'exploitation

La flexibilité de l'INB est analysée en termes :

- d'évolutions du conditionnement pour certains colis de l'inventaire retenu pour la conception et la démonstration de sûreté au stade des études d'avant-projet en particulier ceux dont le conditionnement est à ce stade à l'état de recherche ;
- d'évolutions de livraison de colis primaires par les producteurs (aléas ou stratégies industrielles) et de modifications des flux de réception ;
- d'évolutions de modes de stockage en conteneur et/ou directement sans mise en conteneur selon les familles de déchets ;
- pour le cas spécifique des déchets bitumés, de possibilité à ce stade de deux voies de gestion possibles compte tenu des incertitudes résiduelles sur leur mode de conditionnement pour leur mise en stockage : le stockage de fûts de déchets bitumés mis en conteneurs renforcés vis-à-vis de l'incendie ou le stockage de colis de déchets MA-VL après traitement des fûts de déchets bitumés ;

- d'évolutions d'inventaire de colis de déchets de l'inventaire de référence³¹ (nombre de colis);
- de changements de stratégie et/ou modalités de fermeture.

Les principales dispositions prévues pour répondre à ces principes et qui seront testées pendant la Phipil sont :

- **flexibilité aux variations de livraison de colis primaires par les producteurs**
 - ✓ la notion de flexibilité aux variations de livraison recouvre la flexibilité à l'ordonnancement des colis dans les alvéoles et la flexibilité en termes de cadence de stockage ;
 - ✓ les enseignements sur quelques années permettront de tirer des enseignements sur les cadences de stockage et ainsi de conforter le niveau de flexibilité ;
- **flexibilité au mode de stockage et à la nature des colis primaires**
 - ✓ pendant la Phipil, les modes de stockage seront mis en œuvre (cf. § 2.3.1) ;
 - ✓ par ailleurs, l'installation permet de recevoir et de stocker des colis de déchets dans une gamme de formes, de dimensions et de masses variables.

L'INB est conçue pour permettre des variations de chronique de livraison et de flux sans modification des infrastructures ou des équipements existants (dans les limites industrielles liées aux performances des équipements, à leur taux d'utilisation et à la disponibilité des opérateurs).

Conformément à son engagement pris pendant l'instruction technique du dossier de DAC, l'Andra présentera, lors de la première revue de réversibilité :

- les dispositions organisationnelles et matérielles prises pour s'assurer du caractère flexible de l'INB Cigéo ;
- les évolutions des niveaux de flexibilité et d'adaptabilité au regard des étapes possibles du déploiement de l'installation.

Par ailleurs, à l'issue de la Phipil, l'Andra présentera les enseignements sur la flexibilité à l'exploitation qu'offre l'INB Cigéo.

5.3.3 Contrôler la réalisation des dispositions conservatoires vis-à-vis de l'adaptabilité

L'INB Cigéo est conçue de manière à être adaptable à des évolutions d'inventaires de déchets, par exemple le stockage de combustibles usés en cas de décision d'arrêt de leur retraitement.

Pendant la Phipil, aucune opération de stockage de combustibles n'est envisagée.

Des dispositions conservatoires sont retenues dans la conception (cf. Volume 13 du VPRS). Elles seront mises en place dès la construction initiale, pour permettre cette adaptabilité.

Les principales adaptations concerneraient, d'une part le processus de transfert dans l'installation souterraine, d'autre part la substitution de quartiers de stockage HA par des quartiers de stockage de combustibles usés. En effet, si ceux-ci venaient à être stockés, les colis HA qui auraient été générés par leur traitement ne seraient pas produits.

- Au niveau de l'installation souterraine, les dimensionnements de la descenderie, du funiculaire et des galeries de liaison permettent le stockage des colis sans aucune disposition conservatoire ni modification substantielle au préalable.
- Des adaptations des hottes de transfert seront mises en place en cas de décision de stocker des combustibles usés pour tenir compte de la longueur des colis de combustibles usés.
- Dans les installations de surface prévues en construction initiale, la tête de descenderie prend en compte dans sa conception la longueur des colis de combustibles usés, notamment vis-à-vis de certaines ouvertures de passage (i.e. portes et murs fusibles) pour permettre le passage de la hotte de transfert des combustibles usés et éviter ainsi des modifications substantielles de l'installation.

Par ailleurs, la conception des installations de surface et de l'installation souterraine de l'INB Cigéo préserve la prise en charge des colis de déchets FA-VL sans que cela ne nécessite la mise en place de dispositions spécifiques concernant les ouvrages et équipements prévus dès la construction initiale.

³¹ Pour rappel, certains colis de déchets de l'inventaire de référence sont encore à l'état de recherche sur le conditionnement

Pendant la Phipil, en particulier pendant la phase de construction initiale, la vérification du respect du dimensionnement de l'installation telle que construite intégrera les dispositions conservatoires précitées (contrôle à réalisation).

Par ailleurs, dans le cas où les évolutions de politique énergétique conduiraient à identifier, en fin de Phipil, des scénarios qui pourraient amener à étendre le stockage au-delà de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS), l'Andra analysera l'impact de cette extension sur la sûreté. Ces analyses intégreront des marges permettant de prendre en compte différentes incertitudes notamment en termes d'inventaire. Elles seront réalisées en amont du bilan de la Phipil.

5.3.4 Réaliser des essais de récupérabilité

L'objectif de vérifier la capacité technique à récupérer les colis de stockage dans les alvéoles de stockage repose sur des critères associés qui renvoient à la déclinaison technique de cette capacité.

Dans le cadre des essais réalisés pendant la Phipil, seront menés des essais de récupérabilité de colis déjà stockés. Ceux-ci s'inscrivent dans la démarche générale de déroulement des essais puis de mise en service industriel des installations.

Au stade de la DAC, 4 typologies d'essais de retrait d'exploitation sont envisagées en Phipil (cf. chapitre 5 du volume 13 de la pièce 7 du dossier de DAC [4]):

- essais de retrait d'exploitation d'un colis MA-VL non contaminé, remonté en surface ;
- essais de retrait d'exploitation de colis MA-VL non contaminés transférés dans un autre alvéole MA-VL ;
- essais de retrait d'exploitation d'un colis HA non contaminé, remonté en surface ;
- essais de retrait d'exploitation de colis HA non contaminés transférés dans un autre alvéole HA.

En complément des informations portées dans le dossier de DAC :

- des essais associés au retrait de colis en situation dégradée pourront également être envisagés, comme par exemple, un essai de retrait d'un colis MA-VL désaligné à l'aide d'une fourche télescopique orientable ;
- des essais de retrait hypothétiques en situation post-incidentelle ne sont pas envisagés³² ;
- l'entreposage dans l'installation nucléaire de surface (bâtiment EP1) des colis remontés en surface lors des essais de retrait n'est pas envisagé ;
- des essais de réexpédition de colis ne sont pas envisagés ;
- les éventuels essais d'extraction des colis primaires hors du conteneur de stockage (ou panier de stockage), s'ils devaient être réalisés, le seraient avec des colis inactifs.

Au-delà des essais de récupérabilité des colis déjà stockés, (i) les activités de surveillance des ouvrages et des colis, lors des opérations de stockage et des essais de récupérabilité, au niveau des interfaces d'accostage entre la galerie et l'alvéole et de l'environnement interne de l'alvéole (jeux fonctionnels, évolution physico-chimique des colis) et (ii) les activités de surveillance du comportement phénoménologique des ouvrages souterrains pendant la Phipil, permettront de conforter le domaine de fonctionnement des ouvrages dans le temps afin d'assurer l'absence de remise en cause de la capacité de récupérabilité des colis de déchets stockés.

Ainsi, la Phipil va permettre de tester les différents volets de la réversibilité. Un état d'avancement des actions et des dispositions techniques et organisationnelles sera présenté lors des revues de réversibilité.

³² Dans l'hypothèse d'une situation accidentelle affectant le fonctionnement, l'installation est d'abord placée dans un état sûr, notamment par le maintien ou le rétablissement des fonctions de sûreté. Une fois cette mise à l'état sûr réalisée, l'exploitant doit examiner les différentes dispositions de gestion post accidentelle à mettre en œuvre pour pérenniser la sûreté de l'installation et reprendre son fonctionnement. Le retrait de colis constitue dans ce cadre l'une des actions possibles, sans pour autant devoir être envisagé systématiquement. Le maintien en stockage de colis, même endommagés, ou leur éventuel retrait est décidé au regard des enjeux de sûreté sur l'ensemble des phases de vie du stockage [4].

 OBJECTIF

Conforter la réversibilité

- Tester la flexibilité de l'exploitation aux flux de livraison des colis de déchets radioactifs
- Garantir la progressivité de l'INB et son adaptabilité à l'inventaire de réserve
- Démontrer la récupérabilité de colis stockés

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Réception et stockage des colis de déchets radioactifs selon les flux de livraison réels
- Dispositions conservatoires vis-à-vis des tranches ultérieures et de l'adaptabilité réalisées
- Opérations de retrait de colis stockés réalisées

 MOYENS

- Objectifs et critères de réussite de la Phipil consolidés
- Mise en place des dispositions organisationnelles et matérielles permettant de s'assurer du caractère flexible de l'INB Cigéo, et évolutions des niveaux de flexibilité et d'adaptabilité au regard des étapes possibles du déploiement de l'installation présentée lors de la première revue de réversibilité ;
- Mise en place des dispositions conservatoires nécessaires à l'adaptabilité définies³³ et contrôle de la bonne réalisation de ces dispositions
- Mise en œuvre du programme d'essais de récupérabilité
- Mise en œuvre des revues de réversibilité

5.4 Engager la constitution de la mémoire de l'INB Cigéo

Comme mentionné au paragraphe 5.1, la sûreté passive après fermeture d'un stockage en couche géologique profonde permet de garantir la protection de la santé des personnes et de l'environnement, même si la mémoire de sa présence venait à disparaître.

La mémoire répond principalement à deux types d'objectifs :

- des objectifs de prolongement de la sûreté :
 - ✓ pendant la durée séculaire de son fonctionnement et par extension, pendant toute la période où des réexamens périodiques seront menés, s'assurer de la disponibilité des informations nécessaires ;
 - ✓ exclure, jusqu'à 500 ans après la fermeture définitive de l'installation de stockage³⁴, période initiale caractérisée par une décroissance importante de l'activité des radionucléides à vie courte ou moyenne contenus dans les déchets, une action inopportune qui dégraderait de façon non intentionnelle la performance du stockage, typiquement un forage pénétrant dans la couche d'argillite du Callovo-Oxfordien et s'approchant des déchets ;
 - ✓ repousser le plus loin possible la perte de la connaissance de la présence du stockage pour réduire les risques liés à l'éventualité d'une action inopportune involontaire (forage ou intrusion) ;
- des objectifs de conservation et de transmission de connaissances :
 - ✓ transmettre aux générations successives le patrimoine d'informations, données et connaissances disponibles actuellement, pour leur fournir les moyens de prendre les décisions les plus éclairées relatives au stockage et à son contenu. La mémoire permet de comprendre et de reconsidérer les choix du passé, elle est donc un des outils pour les générations successives ;

³³ Ces dispositions sont présentées dans le volume 12 de la version préliminaire du rapport de sûreté.

³⁴ L'Andra retient cette valeur cible conformément au guide de sûreté n°1 publiée par l'ASN qui mentionne « *la perte de mémoire de l'existence du stockage peut être raisonnablement située au-delà de 500 ans. Cette valeur de 500 ans sera retenue comme date minimale d'occurrence d'une intrusion humaine.* »

- ✓ transmettre aux générations futures un patrimoine scientifique, technique et culturel, permettant de mieux comprendre les sociétés dont elles sont les héritières.

Le code de l'environnement (article L. 542-1-2) indique que le PNGMDR « comporte un état des solutions techniques et des mesures à prévoir pour la période postérieure à la fermeture des installations de stockage, y compris pour la préservation de la mémoire à long terme ».

Le code de l'environnement (article R. 593-75) prévoit la production de deux dossiers pour le passage en phase de surveillance d'une INB de stockage :

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

Ces deux dossiers permettront, au moment du passage en phase de surveillance après la fermeture définitive, de donner l'assurance que les éléments suffisants ont été rassemblés et organisés de manière lisible pour permettre le maintien d'informations détaillées et utilisables relatives à l'INB Cigéo.

Le dossier synthétique de mémoire (DSM) et le dossier détaillé de mémoire (DDM)

- Le DSM décrit l'installation « telle que construite » et comporte « l'inventaire des déchets stockés, avec la localisation des différents déchets et leurs propriétés physico-chimiques ainsi que radiologiques ». Il constitue un outil de mobilisation de la société pour porter la connaissance de l'existence du stockage et des informations détaillées afférentes, contenues dans le DDM.
- Le DDM est un corpus documentaire de l'organisme ayant la responsabilité de l'INB de stockage de déchets radioactifs (dans la réglementation actuelle, l'Andra conserve la responsabilité des stockages, y compris après leur fermeture). Le DDM contient l'ensemble des informations nécessaires à la compréhension des phénomènes constatés sur, dans et autour de l'installation de stockage et à leur résolution. Il présente les éléments permettant de répondre aux questions des autorités compétentes et, le cas échéant, à étudier la transformation partielle ou totale de l'INB.

Parmi les conclusions retenues suite à la concertation sur la Phipil, l'Andra s'est engagée à disposer d'une première version du DSM en fin de Phipil et d'alimenter le versement du DDM dès le lancement de la Phipil, ce qui permettra notamment de soutenir le processus de gestion de la connaissance interne à l'Andra et d'échanger avec le public et les parties prenantes sur ces documents.

Par ailleurs, l'établissement de servitudes relevant de l'institution du périmètre de protection participera au maintien de la mémoire de la présence de l'INB Cigéo.

Outre la mise en œuvre du DSM, du DDM et des servitudes, l'Andra développe des dispositifs pour favoriser aussi bien le signalement, à très long terme, de la présence du stockage, que la mémoire vivante du stockage et sa transmission intergénérationnelle³⁵. Ces dispositifs mémoriels, qui s'appuient notamment sur un volet d'interactions sociales, font et feront encore l'objet d'échanges avec le public et les parties prenantes dans le cadre de la gouvernance de Cigéo [22].

³⁵ Le programme Mémoire bénéficie de l'expérience développée initialement sur le Centre de stockage de la Manche (CSM), et étendue également au Centre de stockage de l'Aube (CSA).

 OBJECTIF**Engager la constitution de la mémoire de l'INB Cigéo**

- Préparer les éléments techniques et organisationnels de la mémoire

CRITÈRES DE RÉUSSITE

- Première version du dossier synthétique de mémoire (DSM) disponible en fin de Phipil
- Organisation du dossier détaillé de mémoire (DDM)

 MOYENS

- Capitalisation du retour d'expérience des travaux mis en œuvre sur les centres de stockage de surface et en particulier le centre de stockage de la Manche
- Élaboration de la première version du DSM
- Engagement de l'élaboration du DDM
- Ajout des actions de préservation de la mémoire du stockage aux thèmes de connaissance à apporter par l'Andra au Parlement pour qu'il fonde sa décision relative aux conditions de poursuite du stockage.
- Maintien des interactions sociales diversifiées notamment avec le « groupe Mémoire » (groupe de réflexion constitué de riverains)

6. Conclusion

La Phipil constitue une mise en pratique concrète du principe de réversibilité défini par le code de l'environnement comme « la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion » (article L. 542-10-1 du code de l'environnement).

Au stade du dossier de demande d'autorisation de création, cette démarche progressive conduit à avoir un état de développement des différents composants de l'installation proportionnés à leurs enjeux et à leur temporalité. De même, le détail des descriptions des actions présentées dans ce document dépend de la temporalité dans laquelle elles s'inscrivent : les actions support à la phase de construction initiale sont ainsi plus détaillées que celles relatives au déploiement des tranches ultérieures, voire de la fermeture de l'installation.

Pendant la Phipil, dans la continuité des pratiques menées depuis une trentaine d'années dans un objectif d'amélioration continue, l'Andra continuera à mener des expérimentations scientifiques et technologiques en particulier dans le Laboratoire souterrain, dans le cadre du développement de l'installation de stockage, ainsi qu'une veille globale (technologique, scientifique...).

Si, sur la base des enseignements acquis pendant la Phipil :

- la décision du Parlement est de poursuivre le déploiement de l'exploitation de l'INB Cigéo, l'Andra préparera un dossier de demande de mise en service de la poursuite de l'exploitation tenant compte des nouvelles orientations fixées par la loi ;
- la décision du Parlement est de renoncer au stockage, pour tout ou partie des déchets HA et MA-VL, alors la nouvelle étape engagée pourra être le retrait total ou partiel de colis de déchets radioactifs, le démantèlement et la fermeture partiels ou définitif. Les dossiers support aux demandes afférentes seront établis conformément à la réglementation en vigueur.

Par ailleurs, des modifications pourront éventuellement être apportées au projet, en fonction du retour d'expérience et des éventuelles avancées technologiques. L'Andra transmettra aux autorités, pour instruction, les éléments requis par la réglementation en vigueur. L'autorisation de mise en service pour la suite de l'exploitation sera délivrée par l'ASNR dans les conditions fixées par le Parlement.

Il existe donc une variabilité de déroulements de la Phipil et de la poursuite du projet. Des prescriptions de l'État pourraient conduire à de nouveaux jalons décisionnels. Les rendez-vous périodiques concernant l'INB Cigéo, prévus au cours de la Phipil, pourront déboucher sur de nouvelles demandes et à la production de rapports et d'évaluations non planifiés initialement.

Des approfondissements et des compléments techniques, des reports ou des réorientations, pourront également être demandés par le Parlement.

L'ensemble des scénarios possibles de déroulement de la Phipil ne peut pas être décrit à ce stade, mais, quel que soit le chemin qui sera suivi (*cf.* Figure 6-1), la nature de la phase qui suivra la Phipil fera l'objet d'une large concertation et in fine sera actée par une loi.

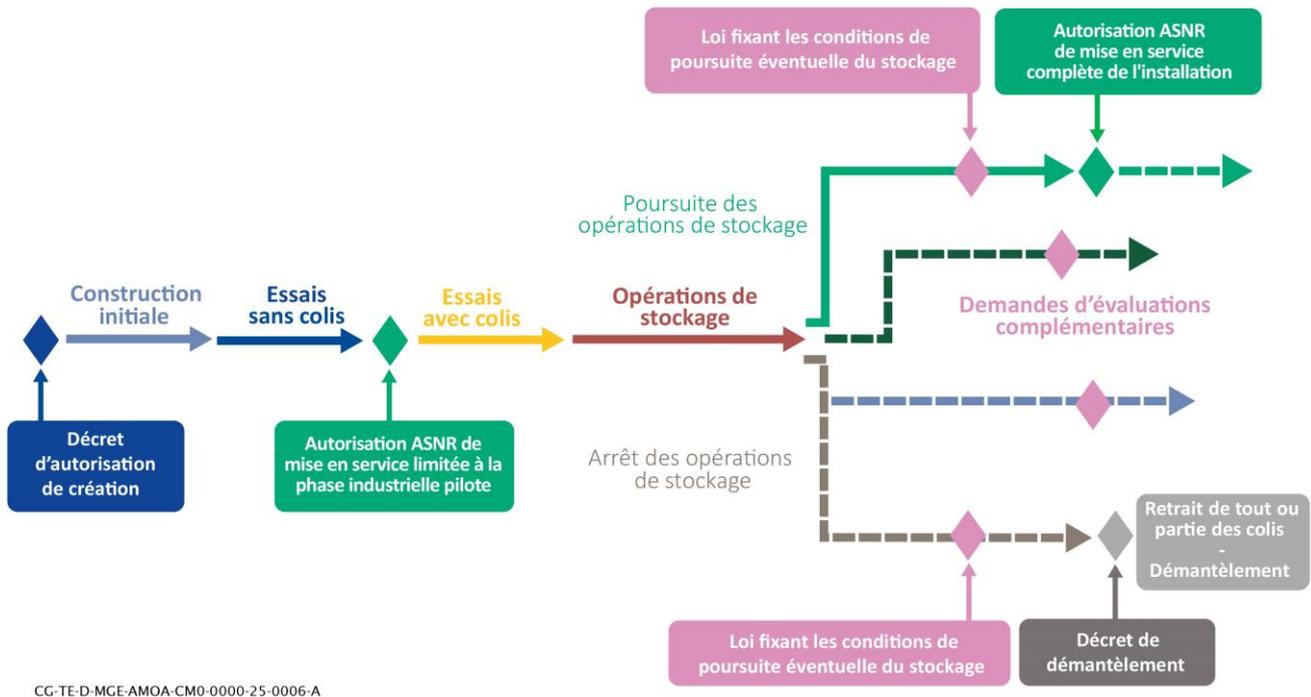


Figure 6-1 Illustration de la variabilité des jalons à la fin de la Phipil

Ainsi, la progressivité de la construction de l'INB Cigéo s'appuie sur une démarche permettant une maturation technologique progressive des éléments (matériel, composants, système, etc.) puis leur construction et leur qualification. Cette démarche progressive permet ainsi de conforter la constructibilité et le fonctionnement des ouvrages et de leurs composants, pris individuellement et dans leur globalité, de façon intégrée à l'ensemble de l'installation. Cette démarche s'inscrit dans les itérations de sûreté/conception/connaissances dans la continuité de ce qui a été mis en place depuis une trentaine d'années.

La nature et le périmètre de l'autorisation qui suivra celle de la phase industrielle pilote et le dossier d'autorisation associé ne pourront être préparés et déposés par l'Andra et instruits par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection qu'après la loi votée par le Parlement, de façon à en respecter les dispositions.

Les études d'optimisation des solutions technologiques se poursuivront pour alimenter par la confortation pendant la Phipil, des acquis scientifiques et technologiques ainsi que par les enseignements de la construction et des essais en inactif et en actif lors de la construction des installations/ouvrages et équipements et des premières années de fonctionnement. Ainsi dès lors qu'une meilleure solution technique aura été développée et aura atteint un degré de maturité suffisant, elle pourra, sous réserve de son autorisation, être intégrée aux ouvrages à construire.



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

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