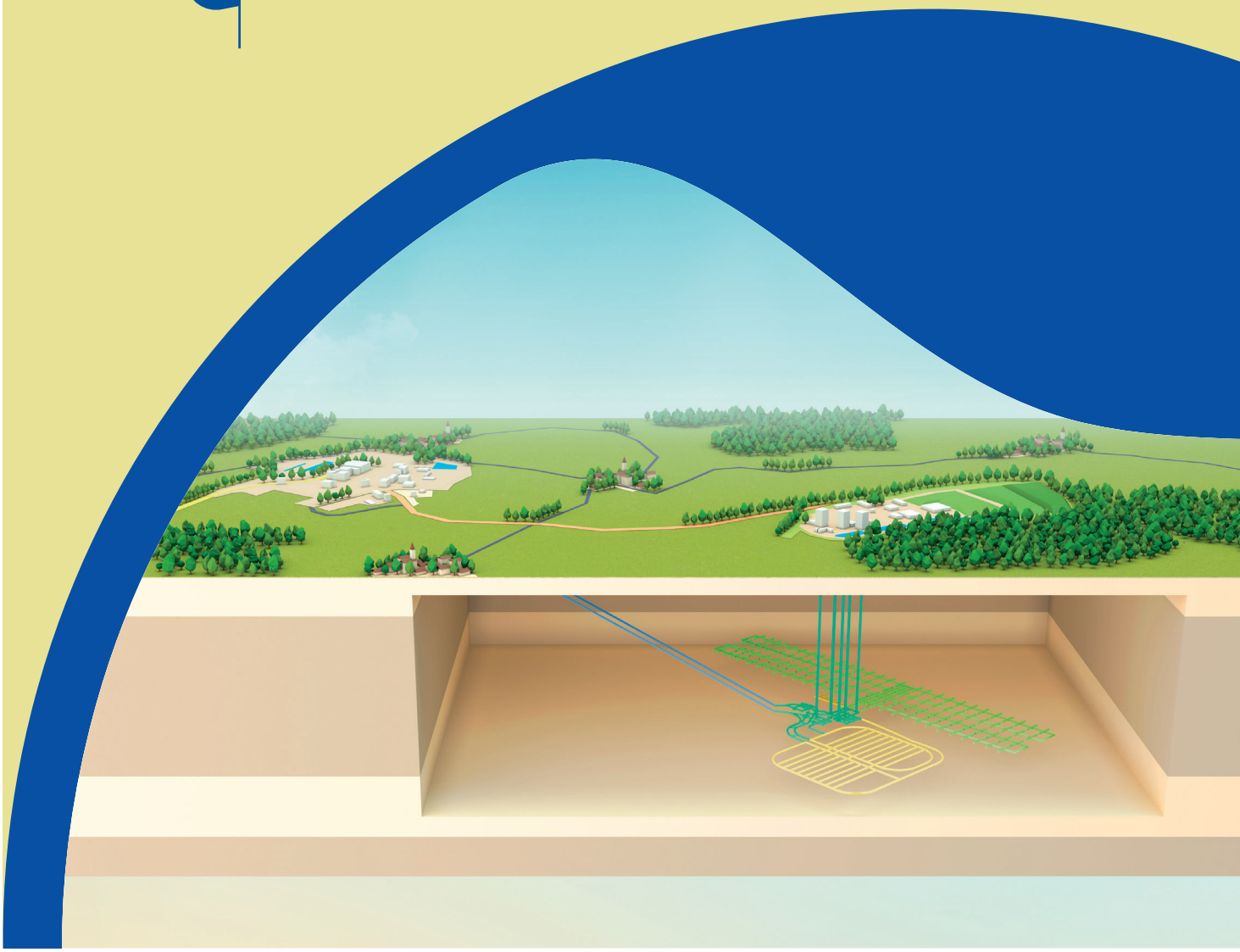
RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ANDRA

2026

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

PIÈCE 18
Avis émis sur le projet



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

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

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

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

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

Sommaire

1. Introduction 5

1.1 Objet de la pièce 6

1.2 Contenu de la pièce 6

2. Les avis requis au titre de la réglementation des INB et de l'évaluation environnementale de la demande d'autorisation de création (DAC) 7

2.1 Avis de l'ASN sur le dossier d'options de sûreté de Cigéo (DOS) 8

2.2 Avis de l'Autorité environnementale (Ae) sur l'étude d'impact de la demande d'autorisation de création 16

2.2.1 Avis n° 2025-133 du 18 décembre 2025 de l'Autorité environnementale de l'IGEDD 17

2.2.2 Mémoire en réponse de l'Andra sur l'avis rendu par l'Autorité environnementale de l'IGEDD 78

2.3 Avis des collectivités territoriales 78

2.3.1 Avis du conseil régional Grand Est 80

2.3.2 Avis des collectivités territoriales et de leurs groupements situés en Meuse 81

2.3.3 Avis des collectivités territoriales et de leurs groupements situés en Haute-Marne 180

3. Les avis, rapport et évaluation requis au titre de la réglementation spécifique à l'INB Cigéo 223

3.1 Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) 224

3.2 Rapport de la Commission nationale des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) 247

3.3 Évaluation par l'OPECST 416

4. Les autres avis et décisions émis 417

4.1 Décision de la Commission nationale du débat public (CNDP) 418

4.2 Consultation du Comité local d'information et de suivi (CLIS) du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne 423

4.3 Liste non exhaustive des principaux avis non requis au titre de l'enquête publique de la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base Cigéo 436

4.4 Courrier du ministère de l'Écologie du 09 mars 2010 validant le choix de la ZIRA 440

Tableau de traçabilité des principales évolutions 443

Références bibliographiques 447

1

Introduction

1.1 Objet de la pièce 6
1.2 Contenu de la pièce 6

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

1.1 Objet de la pièce

La présente pièce intitulée « Avis émis sur le projet » correspond à la pièce 18 du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo dont l'Andra est le maître d'ouvrage. Cette pièce répond aux exigences de l'article R. 123-8, 4° du code de l'environnement, qui a pour objet de regrouper la liste des avis obligatoires émis sur le projet entre le dépôt du dossier de demande d'autorisation et l'ouverture de l'enquête publique.

En effet, l'article R. 123-8 4° précise que : « *le dossier soumis à l'enquête publique comprend les pièces et avis exigés par les législations et réglementations applicables au projet, plan ou programme. Le dossier comprend au moins : […] lorsqu'ils sont rendus obligatoires par un texte législatif ou réglementaire préalablement à l'ouverture de l'enquête, les avis émis sur le projet plan, ou programme* ».

Les références des textes législatifs ou réglementaires appelant un avis sont mentionnées dans la suite de cette pièce. En complément et pour la bonne information du public, les consultations réalisées mais non formellement requises avant l'enquête publique, ainsi que les avis rendus antérieurement au dépôt du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) sont également présentés.

1.2 Contenu de la pièce

La présente pièce comprend les avis disponibles, rendus sur le dossier de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo et présentés selon la réglementation qui les appelle :

- dans son chapitre 2, les avis appelés par la réglementation relative aux INB et à l'évaluation environnementale du dossier de demande de DAC :
  - ✓ l'avis de l'ASN sur le « Dossier d'options de sûreté » de Cigéo (DOS) (2) ;
  - ✓ l'avis de l'Autorité environnementale (Ae) ;
  - ✓ le mémoire en réponse de l'Andra à l'avis de l'Ae ;
  - ✓ les avis délivrés par les collectivités territoriales et les groupements de communes intéressés, situés dans la zone de consultation, sur l'étude d'impact et le dossier de demande. Ces avis valent aussi au titre de la réglementation spécifique au centre de stockage Cigéo.

  Lorsqu'un projet d'INB est situé dans le périmètre d'un schéma d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) approuvé ou si le projet a des effets dans un tel périmètre, l'avis de la commission locale de l'eau sur la demande est également appelé. Aucun SAGE n'existant actuellement dans les périmètres d'étude du projet global Cigéo, cet avis n'est pas attendu.
- dans son chapitre 3, les consultations appelées par la réglementation spécifique à l'INB Cigéo et qui ne sont pas formellement requises pour l'enquête publique ; les résultats des consultations sont présentés s'ils sont disponibles :
  - ✓ le rapport de la commission nationale des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) ;
  - ✓ l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) ;
  - ✓ l'évaluation par l'OPECST (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques).

  Les références des textes législatifs ou réglementaires appelant chaque avis des chapitres 2 et 3 du présent document sont citées en introduction de chaque document.
- dans son chapitre 4, d'autres avis rendus, dont :
  - ✓ la décision de la Commission nationale du débat public (CNDP) ;
  - ✓ la consultation du Comité local d'information et de suivi (Clis) du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne sur le dossier de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo ;
  - ✓ une liste non exhaustive des principaux avis rendus mais non requis au titre de l'enquête publique de la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo.

2

Les avis requis au titre de la réglementation des INB et de l'évaluation environnementale de la demande d'autorisation de création (DAC)

2.1 Avis de l'ASN sur le dossier d'options de sûreté de Cigéo (DOS) 8

2.2 Avis de l'Autorité environnementale (Ae) sur l'étude d'impact de la demande d'autorisation de création 16

2.3 Avis des collectivités territoriales 78

2.1 Avis de l'ASN sur le dossier d'options de sûreté de Cigéo (DOS)

Un premier avis de l'ASN a été émis sur le projet suite au dépôt par l'Andra du dossier d'options de sûreté de Cigéo. Il est appelé à figurer à la présente pièce par l'article R. 593-22 du code de l'environnement.

Il s'agit de l'avis n° 2018-AV-0300 de l'ASN (2) *relatif au dossier d'options de sûreté présenté par l'Andra pour le projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde* qui a été publié le 11 janvier 2018 et qui est présenté ci-après.

La lettre CODEP-DRC-2018-001635 (3) reprend l'avis précité, précise les options de sûreté satisfaisantes, les études et justifications complémentaires nécessaires à la demande d'autorisation de création ainsi que les engagements pris par l'Andra au cours de l'instruction du dossier d'options de sûreté. Cette lettre est disponible sur le site de l'Autorité de sûreté et de radioprotection (ASNR).

REPUBLIQUE FRANÇAISE

Avis n° 2018-AV-0300 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 janvier 2018 relatif au dossier d'options de sûreté présenté par l'Andra pour le projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde

L'Autorité de sûreté nucléaire,

Vu le code de l'environnement, notamment ses articles L. 542-1-1, L. 542-1-2, L. 542-10-1, L. 542-12, L. 592-27 et L. 593-7 ;

Vu le décret n° 2007-1557 du 2 novembre 2007 modifié relatif aux installations nucléaires de base et au contrôle, en matière de sûreté nucléaire, du transport de substances radioactives, notamment son article 6 ;

Vu le décret n° 2017-231 du 23 février 2017 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs ;

Vu l'arrêté du 7 février 2012 modifié fixant les règles techniques relatives aux installations nucléaires de base ;

Vu l'arrêté du 15 janvier 2016 modifié relatif au coût objectif afférent à la mise en œuvre des solutions de gestion à long terme des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue ;

Vu l'arrêté du 23 février 2017 pris en application du décret n° 2017-231 du 23 février 2017 pris pour application de l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et établissant les prescriptions de Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs ;

Vu 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, notamment son article 3.1.6 ;

Vu la décision n° 2017-DC-0587 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 23 mars 2017 relative au conditionnement des déchets radioactifs et aux conditions d'acceptation des colis de déchets radioactifs dans les installations nucléaires de base de stockage ;

Vu le guide de sûreté de l'ASN relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde de février 2008 ;

Vu l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1er février 2006 sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HAVL) menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, et liens avec le PNGDR-MV ;

Vu l'avis n° 2011-AV-129 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 26 juillet 2011 sur le dossier relatif au stockage réversible profond de déchets de haute et moyenne activité à vie longue déposé par l'Andra conformément à l'article 11 du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 ;

Vu l'avis n° 2013-AV-0179 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 mai 2013 sur les documents produits par l'Andra depuis 2009 relatifs au projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2013-AV-0187 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 4 juillet 2013 sur la transmutation des éléments radioactifs à vie longue ;

Vu l'avis n° 2015-AV-0227 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 10 février 2015 relatif à l'évaluation des coûts afférents au projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2016-AV-0256 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 9 février 2016 sur les études relatives à l'évaluation du caractère valorisable des matières radioactives remises en application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu l'avis n° 2016-AV-0259 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 25 février 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de haute et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu l'avis n° 2016-AV-264 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 mars 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu l'avis n° 2016-AV-0267 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 31 mai 2016 relatif à la réversibilité du stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde ;

Vu le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) 2016-2018 ;

Vu l'avis délibéré n° 2016-036 du 20 juillet 2016 de l'Autorité environnementale sur le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (2016-2018) ;

Vu le rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques du 9 mars 2017 sur l'évaluation du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu le bilan du débat public sur le projet de centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne (Cigéo) dressé par le Président de la Commission nationale du débat public et publié le 12 février 2014 ;

Vu la lettre ASN CODEP-DRC-2014-039834 du 19 décembre 2014 relative aux options de sûreté du projet Cigéo ;

Vu la lettre ASN CODEP-DRC-2015-004834 du 7 avril 2015 relative au dossier « maîtrise des risques en exploitation » ;

Vu la lettre ASN CODEP-DRC-2016-034029 - ASND/2016-00930 du 26 septembre 2016 relative à l'étude PNGMDR : évaluation technico-économique d'un procédé de traitement d'enrobés de boues bitumées par incinération/vitrification ;

Vu la lettre Andra DG/17-0097 du 27 avril 2017 transmettant ses engagements dans l'objectif de la demande d'autorisation de création de Cigéo ;

Vu le dossier d'options de sûreté remis par l'Andra par lettres DG/16-0105 du 6 avril 2016, DG/16-0141 du 13 mai 2016, DG/16-0156 du 24 mai 2016 et DISEF/DIR/16-0116 du 6 juillet 2016 ;

Vu le rapport de la revue par des experts issus d'autorités de sûreté étrangères, organisée par l'AIEA, sur le dossier d'options de sûreté du projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde : Cigéo – novembre 2016 ;

Vu le rapport de la commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et déchets radioactifs sur l'analyse des documents Cigéo 2016 et recommandations – novembre 2016 ;

Vu l'avis et les recommandations des groupes permanents d'experts pour les déchets et pour les laboratoires et les usines, relatifs au dossier d'options de sûreté du projet Cigéo, établis à l'issue de sa réunion des 18 et 19 mai 2017 sur la base du rapport de l'IRSN n° 2017-00013 ;

Vu les résultats de la consultation du public sur le projet d'avis du 1er août au 15 septembre 2017 ;

Après avoir entendu les représentants de l'Andra le 6 juillet 2017 ;

Après avoir entendu les représentants du CEA le 9 octobre 2017 ;

Considérant que la gestion des déchets radioactifs est un enjeu de sûreté nucléaire et qu'il est nécessaire que l'ensemble de ces déchets dispose d'une filière de gestion sûre,

Rend l'avis suivant :

1) Concernant l'inventaire des déchets radioactifs à retenir pour la demande d'autorisation de création d'un stockage géologique profond et pour les éventuelles demandes de modifications au cours de l'exploitation

Considérant que :

- L'article L. 542-1-2 du code de l'environnement dispose que « *les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou en faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde* » ;
- L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement dispose 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 cohérentes avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage.* » ;

- L'article D. 542-90 du code de l'environnement dispose que *« L'inventaire à retenir par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs pour les études et recherches conduites en vue de concevoir le centre de stockage prévu à l'article L. 542-10-1 comprend un inventaire de référence et un inventaire de réserve.*
« L'inventaire de réserve prend en compte les incertitudes liées notamment à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets ou à des évolutions de politique énergétique.
« Le centre de stockage est conçu pour accueillir les déchets de l'inventaire de référence.
« Il est également conçu par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs, en lien avec les propriétaires des substances de l'inventaire de réserve, pour être en mesure d'accueillir les substances qui figurent à cet inventaire, sous réserve le cas échéant d'évolutions dans sa conception pouvant être mises en œuvre en cours d'exploitation à un coût économiquement acceptable. »

Considérant que les principes présentés par l'ASN dans son avis du 16 mai 2013 susvisé concernant l'inventaire de déchets radioactifs à retenir dans le cadre de l'instruction d'un futur dossier de demande d'autorisation de création restent valables ;

Considérant que la quantité totale de déchets à stocker dans l'installation Cigéo est évaluée en tenant compte de l'inventaire des déchets produits jusqu'en 2010 et d'une estimation de ceux à produire après cette période,

L'ASN estime que :

a) la méthode retenue pour l'établissement de l'inventaire des déchets à stocker dans l'installation Cigéo retenu par l'Andra au stade du DOS est satisfaisante ;

b) cet inventaire, basé sur un scénario industriel de 2011, a néanmoins vocation à évoluer et que l'inventaire des déchets à retenir pour la conception de l'installation qui sera présenté dans la demande d'autorisation de création de l'installation devra être actualisé en prenant en compte les travaux menés dans le cadre du PNGMDR et l'avis de l'ASN du 16 mai 2013 susvisé, lequel indique notamment que « *cet inventaire devrait prendre en compte l'ensemble des stratégies industrielles aujourd'hui envisagées par les producteurs, en particulier pour ce qui concerne la durée de fonctionnement des réacteurs et leur puissance ainsi que la gestion des combustibles usés du CEA en intégrant les déchets résultant du traitement de ces combustibles et, s'il y a lieu, les combustibles qui ne seraient pas retraités* ».

c) au stade de la demande d'autorisation de création de l'installation, l'Andra doit présenter l'inventaire de réserve retenu, conformément à l'avis de l'ASN du 31 mai 2016 susvisé, et justifier qu'il n'y a pas d'élément rédhibitoire au stockage des déchets de cet inventaire de réserve.

2) Concernant le dossier d'options de sûreté du projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde

Considérant qu'à la suite du débat public préalable au dépôt du dossier de demande d'autorisation de création tenu en 2013 et prévu par l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, l'Andra a décidé de soumettre à l'ASN un dossier d'options de sûreté au sens de l'article 6 du décret du 2 novembre 2007 susvisé ; que cette démarche s'inscrit dans un processus de développement par étapes de l'installation, cohérent avec les préconisations du guide de sûreté de l'ASN de février 2008 susvisé ;

2.1) Observations générales

Considérant que le dossier d'options de sûreté montre notamment que l'Andra a :

- acquis une connaissance détaillée du site de Meuse/Haute-Marne, qui lui permet de confirmer la pertinence de la zone retenue pour l'implantation du stockage ;
- mené de nombreuses études pour caractériser les évolutions des différents composants du stockage (colis, matériaux métalliques, cimentaires et argileux) et a constitué un ensemble important de connaissances à ce sujet ;
- correctement identifié et étudié les perturbations (bactériennes, organiques, salines…) qui pourront affecter la roche hôte ainsi que les phénomènes qui se produiront pendant les transitoires (thermique, hydraulique, mécanique…) qui résulteront de l'implantation du stockage. Les résultats présentés tendent à indiquer que leur extension devrait être limitée par rapport à l'épaisseur de la roche hôte ;
- retenu des principes globalement satisfaisants dans la démarche de sûreté en exploitation et après fermeture, cohérents avec le guide de sûreté de l'ASN de février 2008 susvisé et les travaux d'instances internationales ;

Considérant néanmoins que des incertitudes, inhérentes à ce stade de développement du projet, demeurent ; que des études et justifications complémentaires sont attendues dans différents domaines, en particulier concernant la représentativité du modèle hydrogéologique, les phénomènes de corrosion, les bétons à bas pH, les critères d'endommagement acceptable de la roche et l'évolution des matériaux argileux durant la phase transitoire hydraulique-gaz,

L'ASN estime que

a) le projet a atteint globalement une maturité technologique satisfaisante au stade du dossier d'options de sûreté ;
b) le dossier d'options de sûreté est documenté et étayé et constitue une avancée significative par rapport aux dossiers « argile 2005 » et « jalon 2009 » ayant fait l'objet respectivement des avis de l'ASN du 1er février 2006 et du 26 juillet 2011 susvisés.

2.2) Colis de déchets bitumés

Considérant que les colis de déchets bitumés représentent 18 % du nombre de colis de l'inventaire de référence de l'installation ; que des incertitudes demeurent concernant le comportement physico-chimique et thermique de ces colis en stockage, en particulier en situation incidentelle ou accidentelle conduisant à une élévation de température ;

Considérant que les options de conception retenues à ce stade par l'Andra ne permettent ni de prévenir ni de limiter les risques à un niveau acceptable en cas de réaction exothermique à l'intérieur d'un colis de déchets bitumés ;

Considérant qu'à ce stade deux voies principales sont identifiées pour la gestion des colis de déchets bitumés déjà conditionnés : 1° le développement d'un procédé assurant la neutralisation de la réactivité chimique des colis, 2° des évolutions substantielles des options de conception de l'installation de stockage pour exclure le risque d'emballement de réactions exothermiques en cas d'incendie ou d'élévation de température ;

Considérant qu'en tout état de cause, la deuxième voie ne pourrait être retenue que pour des colis de déchets bitumés suffisamment caractérisés permettant une modélisation de leur comportement en stockage ;

Considérant que la gestion des colis de déchets bitumés fait l'objet de demandes d'études encadrées par l'arrêté du 23 février 2017 susvisé, en particulier ses articles 46, 47 et 48 ;

Considérant que la décision du 23 mars 2017 susvisée dispose dans son article 2.3 que « *les opérations de conditionnement de déchets radioactifs permettent la production de colis de déchets radioactifs définitifs présentant une stabilité physico-chimique appropriée et assurant le confinement des substances radioactives et dangereuses qu'ils contiennent. Ces opérations sont adaptées à la nature et aux caractéristiques des déchets radioactifs et de l'installation de stockage à laquelle ils sont destinés et doivent notamment tenir compte des risques liés aux actions des agents chimiques et biologiques, à l'hétérogénéité de la répartition de déchets et à la production de chaleur dans ce colis.* »,

L'ASN estime que la recherche de la neutralisation de la réactivité chimique des colis de déchets bitumés doit être privilégiée. En parallèle, des études visant à modifier la conception pour exclure le risque d'emballement de réactions exothermiques doivent être conduites. En tout état de cause, la caractérisation dans les meilleurs délais de ces colis de déchets bitumés par leurs producteurs est un préalable indispensable.

2.3) Sujets pouvant conduire à des évolutions de conception

Justification de l'architecture du stockage

L'ASN estime nécessaire que l'Andra étudie une architecture de stockage qui renforce la capacité globale de confinement de l'installation, en prenant en considération au moins les lignes de défense suivantes et leur combinaison : le nombre et la performance des scellements de galerie, la distance entre les quartiers de stockage et la base des liaisons surface-fond, et le positionnement des quartiers de stockage par rapport aux liaisons surface-fond.
L'architecture retenue dans la demande d'autorisation de création sera justifiée par une étude des avantages et inconvénients de différentes options, en considérant les aspects relatifs à la sûreté et à la radioprotection en exploitation et à long terme.

Dimensionnement de l'installation aux agressions

L'ASN estime nécessaire que l'Andra présente et justifie, dans le dossier de demande d'autorisation de création, les niveaux d'aléas qu'elle retient pour les agressions ainsi que les exigences, les critères et les méthodes pour analyser le comportement des équipements et ouvrages soumis à ces aléas, en exploitation comme après fermeture, notamment pour ce qui concerne le séisme dans la démonstration de sûreté après la fermeture du stockage.

L'ASN estime nécessaire que, dans le dossier de demande d'autorisation de création, l'Andra retienne pour le dimensionnement de l'installation de surface, sauf justification particulière, un incendie impliquant au moins l'intégralité du contenu du colis primaire le plus pénalisant.

Surveillance de l'installation

Considérant que le dossier examiné apporte peu d'éléments concernant les modalités selon lesquelles l'Andra compte assurer une surveillance adaptée aux exigences de sûreté en phase d'exploitation et après fermeture du stockage,

L'ASN estime nécessaire que le dossier de demande d'autorisation de création présente et justifie la stratégie de surveillance de l'installation et les moyens à mettre en œuvre.

Situations post-accidentelles

Considérant que la possibilité d'intervenir et, le cas échéant, de réhabiliter l'installation est une priorité pour assurer la pérennité de la filière de gestion des déchets HA et MA-VL, dont Cigéo constitue l'unique exutoire ; que les éléments présentés dans le dossier d'options de sûreté n'ont pas entièrement répondu à la demande de l'ASN concernant le rétablissement des différentes fonctions du stockage à la suite d'une situation accidentelle, formulée dans son courrier du 7 avril 2015 susvisé,

L'ASN estime nécessaire que l'Andra présente, dans sa demande d'autorisation de création les enjeux de sûreté, en exploitation comme à long terme, liés au rétablissement des diverses fonctions du stockage à la suite d'une situation accidentelle ainsi que leur prise en compte et leur déclinaison dans la conception de l'installation, en distinguant en particulier :

- la possibilité de poursuivre les opérations de stockage,
- la possibilité de retirer des colis, impliqués ou non dans la situation accidentelle,
- la possibilité de mise en œuvre des opérations de fermeture du stockage.

Un scénario conventionnel d'effondrement devra notamment être postulé. La démarche présentée devra intégrer l'analyse du retour d'expérience existant sur ce sujet.

3) Concernant la demande d'autorisation de création

L'ASN estime que le dossier de demande d'autorisation de création doit avoir un niveau de détail permettant, compte tenu du principe de réversibilité et du développement prévu de l'installation, d'avoir, conformément aux dispositions de l'article 3.1.6 de la décision de l'ASN du 17 novembre 2015 susvisée, la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté nucléaire sera confirmée au moment de la remise de la version du rapport de sûreté établie pour la demande d'autorisation de mise en service de la partie concernée de l'INB.

*
* *

Le présent avis sera complété par une lettre adressée à l'Andra précisant les options de sûreté satisfaisantes ainsi que les études et justifications complémentaires nécessaires à la demande d'autorisation de création.

Fait à Montrouge, le 11 janvier 2018.

Le collège de l'Autorité de sûreté nucléaire,*

Signé par

Pierre-Franck CHEVET

Sylvie CADET-MERCIER Philippe CHAUMET-RIFFAUD Lydie EVRARD

* *Commissaires présents en séance*

2.2 Avis de l'Autorité environnementale (Ae) sur l'étude d'impact de la demande d'autorisation de création

Conformément aux articles L. 122-1 V, R. 122-6, R. 122-7 III et R. 593-21 du code de l'environnement, l'Autorité environnementale de l'IGEDD (Inspection générale de l'environnement et du développement durable : autorité environnementale compétente pour les opérations du centre de stockage Cigéo menées sous maîtrise d'ouvrage de l'Andra) rend son avis sur la qualité de l'étude d'impact présentée par l'Andra et sur la prise en compte de l'environnement par le projet, après avoir consulté :

- le ou les préfets de département sur le territoire desquels est situé le projet ;
- le ministre chargé de la santé si le projet est susceptible d'avoir des incidences notables sur l'environnement et la santé humaine au-delà du territoire d'une seule région et le directeur général de l'agence régionale de santé pour les autres projets.

L'Autorité environnementale de l'IGEDD a été saisie pour avis par le préfet de la Meuse le 6 octobre 2025, et l'ensemble des pièces constitutives du dossier a été reçu le 17 octobre 2025.

Deux mois après la réception du dossier, la formation d'Autorité environnementale de l'IGEDD a rendu son avis n° 2025-133 le 18 décembre2025, qui est présenté ci-après.

2.2.1 Avis n° 2025-133 du 18 décembre 2025 de l'Autorité environnementale de l'IGEDD

Autorité environnementale

Avis délibéré de l'Autorité environnementale sur la demande d'autorisation de création du centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute et moyenne activités (Cigéo) sur les communes de Saudron (52) et de Bure (55)

n°Ae : 2025-133

Avis délibéré n° 2025-133 adopté lors de la séance du 18 décembre 2025

IGEDD / Ae – Tour Séquoia – 92055 La Défense cedex – tél. +33 (0) 1 40 81 90 32 – www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/l-autorite-environnementale-r145.html

Préambule relatif à l'élaboration de l'avis

L'Ae[1] s'est réunie le 18 décembre 2025 en visioconférence. L'ordre du jour comportait, notamment, l'avis sur la demande d'autorisation de création d'un stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de hautes et moyennes activités (Cigéo) sur les communes de Saudron (52) et Bure (55).

Ont délibéré collégialement : Sylvie Banoun, Nathalie Bertrand, Karine Brulé, Marc Clément, Christine Jean, François Letourneux, Olivier Milan, Serge Muller, Alby Schmitt, Éric Vindimian, Véronique Wormser.

En application de l'article 4 du règlement intérieur de l'Ae, chacun des membres délibérants cités ci-dessus atteste qu'aucun intérêt particulier ou élément dans ses activités passées ou présentes n'est de nature à mettre en cause son impartialité dans le présent avis.

Étaient absents : Noël Jouteur, Jean-Michel Nataf.

N'ont pas participé à la délibération, en application de l'article 4 du règlement intérieur de l'Ae : Laurent Michel, Laure Tourjansky.

* *

L'Ae a été saisie pour avis par le Préfet de la Meuse, l'ensemble des pièces constitutives du dossier ayant été reçues le 17 octobre 2025.
Cette saisine étant conforme aux dispositions de l'article R. 122-6 du code de l'environnement relatif à l'autorité environnementale prévue à l'article L. 122-1 du même code, il en a été accusé réception. Conformément à l'article R. 122-7 du code de l'environnement, l'avis a vocation à être rendu dans un délai de deux mois.
Conformément aux dispositions de l'article R. 122-7 du code de l'environnement, l'Ae a consulté par courriers du 23 octobre 2025 :

- *Le préfet de la région Grand-Est, qui a transmis une contribution le 27 novembre 2025*
- *la préfète de Haute Marne, qui a transmis une contribution le 2 décembre 2025*
- *le préfet de la Meuse,*
- *la directrice générale de l'Agence régionale de santé (ARS) de la région Grand-Est, qui a transmis une contribution le 1er décembre 2025.*

Sur le rapport de Cécile Castel, Pierre-François Clerc et Alby Schmitt qui se sont rendus sur le site le 6 novembre 2025 et se sont entretenus avec le maître d'ouvrage ce jour-là, ainsi que le 17 octobre et le 4 novembre 2025 par visio-conférence, après en avoir délibéré, l'Ae rend l'avis qui suit.

Pour chaque projet soumis à évaluation environnementale, une autorité environnementale désignée par la réglementation doit donner son avis et le mettre à disposition du maître d'ouvrage, de l'autorité décisionnaire et du public.
Cet avis porte sur la qualité de l'étude d'impact présentée par le maître d'ouvrage et sur la prise en compte de l'environnement par le projet. Il vise à permettre d'améliorer sa conception, ainsi que l'information du public et sa participation à l'élaboration des décisions qui s'y rapportent. L'avis ne lui est ni favorable, ni défavorable et ne porte pas sur son opportunité.
La décision de l'autorité compétente qui autorise le pétitionnaire ou le maître d'ouvrage à réaliser le projet prend en considération cet avis. Une synthèse des consultations opérées est rendue publique avec la décision d'octroi ou de refus d'autorisation du projet (article L. 122-11 du code de l'environnement). En cas d'octroi, l'autorité décisionnaire communique à l'autorité environnementale le ou les bilans des suivis, lui permettant de vérifier le degré d'efficacité et la pérennité des prescriptions, mesures et caractéristiques (article R. 122-13 du code de l'environnement).
Conformément au V de l'article L. 122-1 du code de l'environnement, le présent avis de l'autorité environnementale devra faire l'objet d'une réponse écrite de la part du maître d'ouvrage qui la mettra à disposition du public par voie électronique au plus tard au moment de l'ouverture de l'enquête publique prévue à l'article L. 123-2 ou de la participation du public par voie électronique prévue à l'article L. 123-19.
Le présent avis est publié sur le site de l'Ae. Il est intégré dans le dossier soumis à la consultation du public.

[1] Formation d'autorité environnementale de l'Inspection générale de l'environnement et du développement durable (IGEDD).

Synthèse de l'avis

Le projet Cigéo a pour objectif le stockage en couche géologique profonde des déchets nucléaires de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) produits par les activités nucléaires en France. Ce projet est défini comme la solution de gestion de ces déchets dans le plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR). Sur la base de ce plan et de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), l'Andra dresse l'inventaire national des matières et déchets radioactifs. Cigéo est dimensionné sur la base d'un inventaire de référence (ensemble des déchets issus des installations existantes), avec une capacité à s'adapter à l'inventaire de réserve (qui inclut aussi des déchets actuellement sans filière dédiée et des déchets susceptibles d'être produits dans un futur « proche », du fait par exemple de la prolongation du parc nucléaire actuel ou de la mise en service de six futurs réacteurs EPR2). Son déploiement est volontairement prévu de manière progressive afin de permettre la mise en œuvre de modifications couvertes par le principe de réversibilité.

Le projet, localisé à la limite départementale entre la Meuse et la Haute-Marne, a été déclaré d'utilité publique en 2022. Il a fait l'objet d'une autorisation environnementale le 11 juillet 2025 sur la base d'un dossier « DR0 ». Parallèlement, une demande d'autorisation de création d'installation nucléaire de base (INB), nécessaire au démarrage des travaux de l'installation, puis de la phase industrielle pilote, était instruite par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR). La principale modification du dossier présenté pour avis à l'Ae concerne le volet sûreté, qui a fait l'objet d'un avis de l'ASNR le 25 novembre 2025, préalable au décret d'autorisation de création prévu en 2028.

Pour l'Ae, les principaux enjeux environnementaux du projet, inchangés, sont les suivants :

- la sécurité après fermeture du site de stockage pour une période très longue ;
- le risque de dissémination de la radioactivité dans l'environnement notamment aquatique ;
- la préservation de la santé humaine du fait du risque d'exposition suite à la dispersion de substances radioactives ;
- la protection des milieux naturels et de la biodiversité.

Le dossier traduit un travail considérable, fruit d'études et de recherches engagées depuis 25 ans et qui se poursuivront jusqu'à la mise en service de l'INB et tout au long de son fonctionnement, dans une logique d'amélioration continue des connaissances, des équipements, des procédés et des procédures.

Les principales recommandations de l'Ae s'adressent à l'Andra, au Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et à l'État ; elles portent sur :

- l'évaluation de l'extension du projet nécessaire pour le stockage des déchets radioactifs en retenant les hypothèses les plus défavorables envisageables sur la durée d'exploitation de Cigéo, en termes de dimensionnement, et de surface totale des ouvrages souterrains ;
- la faisabilité de cette extension et l'évaluation de ses impacts et des coûts associés ou, sinon, la définition d'une capacité maximale de stockage en tirant les conséquences dans les réflexions futures sur le PNGMDR et la PPE ;

- l'anticipation de la transition entre la phase pilote et la phase de fonctionnement afin de bénéficier à la fois d'un retour d'expérience suffisant, du temps nécessaire à l'exploitation des données et à la prise de décision du législateur, sans risquer d'interrompre le processus ;
- l'identification des paramètres discriminants au regard de la conception du stockage Cigéo ou de sa sûreté, l'indication pour chacun d'eux des valeurs limites à ne pas dépasser sous peine d'une remise en cause de sa conception, du caractère non significatif de son impact et de les mettre en perspective avec les valeurs observées, compte tenu de leur variabilité, notamment dans les domaines de la géologie, de l'hydrogéologie ou des phénomènes météorologiques pouvant perturber le fonctionnement du site ;
- la priorisation des travaux relatifs au programme de recherche et développement associé à la mise en œuvre de ce scénario, concernant le traitement préalable des colis de déchets bitumés visant leur inertage avant stockage, et son affirmation comme solution de référence ;
- le provisionnement du financement du projet, y compris pour l'inventaire de réserve et des opérations de réversibilité, notamment dans le cas d'un arrêt anticipé pour des raisons de sûreté de l'installation.

L'Ae formule également plusieurs recommandations concernant des compléments nécessaires à la bonne compréhension du dossier, à la diffusion de l'information auprès du public et les conditions de la poursuite de l'échange avec le public pour un projet qui présente un enjeu national.

L'ensemble des observations et recommandations de l'Ae est présenté dans l'avis détaillé.

Sommaire

1. Contexte, présentation et périmètre du projet 6
1.1 Contexte et conception générale 6
1.1.1 Contexte 6
1.1.2 Principes généraux de conception 10
1.2 Présentation du projet, de ses aménagements et de son périmètre 14
1.2.1 Définition des secteurs d'étude et d'implantation du stockage souterrain 14
1.2.2 Présentation du projet d'ensemble et de ses aménagements 14
1.2.3 Les déchets radioactifs stockés à Cigéo 20
1.2.4 Coût et financement 23
1.2.5 Périmètre du projet 23
1.2.6 Calendrier réglementaire et technique – consultations du public 25
1.3 Procédures relatives au projet 27
1.4 Principaux enjeux environnementaux du projet relevés par l'Ae 29
2. Analyse de l'étude d'impact 29
2.1 Analyse de la recherche de variantes et du choix du parti retenu 29
2.2 Incidences du projet, mesures d'évitement, de réduction et de compensation 31
2.2.1 Caractérisation des déchets radioactifs 31
2.2.2 Sol, sous-sol, eaux souterraines et superficielles 33
2.2.3 Milieu humain et risques anthropiques 43
2.2.4 Risques naturels et climat 44
2.2.5 Autres compartiments environnementaux 45
2.3 Évaluation des incidences Natura 2000 46
2.4 Suivi du projet, de ses incidences, des mesures et de leurs effets 46
2.5 Résumé non technique 46
3. Sûreté du site en exploitation et après fermeture 46
3.1 Sûreté du site en exploitation 47
3.1.1 Analyse des retours d'expériences d'installations analogues 47
3.1.2 Méthodes retenues pour l'analyse des risques 48
3.1.3 Inventaire des risques que présente l'installation, d'origine tant interne qu'externe 49
3.1.4 Analyse des conséquences des accidents éventuels 50
3.1.5 Présentation des dispositions envisagées pour la maîtrise des risques, ainsi que des dispositifs et des moyens de secours 50
3.1.6 Résumé non technique de l'étude de maîtrise des risques 51
3.2 Sûreté du stockage souterrain après fermeture du site 51
3.2.1 Présentation générale de la démarche spécifique de sûreté après fermeture 51
3.2.2 Points spécifiques de la démarche de sûreté d'un stockage souterrain à long terme 54
3.2.3 Conclusion sur la sûreté après fermeture du site 56
4. Garanties et réversibilité 57
4.1 Garanties financières 57
4.2 Garantie de réversibilité, mise en œuvre et coûts induits 59
5. Conclusion 60

Avis détaillé

Le présent avis est le troisième avis de l'Ae émis sur le projet Cigéo. Un premier avis, délibéré le 13 janvier 2021, a été rendu sur le dossier relatif à la déclaration d'utilité publique (DUP) du projet. Un deuxième a été délibéré lors de la demande d'autorisation environnementale (dossier « DR0 »[2]) le 27 juin 2024. Ce troisième avis concerne le dossier d'autorisation de création qui comprend une version préliminaire de l'étude de sûreté.

Dans ce troisième avis, l'Ae a repris l'analyse de la prise en compte de l'environnement par le projet, en ciblant les évolutions intervenues depuis l'avis de 2024. Du fait de la particularité de ce projet, le dossier est important, complexe et technique, ce qui le rend difficile à appréhender dans le délai de deux mois imparti réglementairement à l'Ae. L'avis doit donc être consulté en complément des deux précédents avis de l'Ae sur ce projet, ainsi que des mémoires en réponse de l'Agence nationale des déchets radioactifs (Andra) aux recommandations formulées par l'Ae sur les dossiers de la DUP et « DR0 ». Il s'articule également avec le Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (PNGMDR) sur lequel l'Ae a rendu un avis le 18 novembre 2021.

1. Contexte, présentation et périmètre du projet

Le projet Cigéo a pour objectif le stockage[3] souterrain des déchets nucléaires de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) résultant des activités nucléaires en France. L'Ae souligne l'effort didactique de l'Andra, maître d'ouvrage principal du projet. Le présent avis reflète la situation au dernier stade de consultation du public sur le projet d'ensemble avant l'engagement de la construction du site.

1.1 Contexte et conception générale

1.1.1 Contexte

La production d'électricité par la filière électronucléaire induit, comme toute activité qui utilise des matières radioactives (médecine, industrie, recherche, défense), des déchets radioactifs de natures et de niveaux d'activité divers. Ces déchets doivent être gérés de manière à protéger durablement la santé des personnes et l'environnement, aussi bien à court qu'à très long terme.

Les catégories de déchets nucléaires

Les différentes catégories de déchets nucléaires sont représentées sur la figure 1.

[2] DR0 : Dossier réglementaire « zéro » relatif aux premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale du projet global Cigéo.

[3] Le stockage ne doit pas être confondu avec l'entreposage. Les deux consistent à conserver les déchets radioactifs sur des sites sécurisés, en attendant que leur radioactivité décroisse naturellement. Un stockage diffère d'un entreposage par sa nature pérenne.

Le présent avis porte sur la solution de gestion retenue pour les déchets HA et MA-VL qui représentent environ 3 % du volume total de l'ensemble des déchets radioactifs et concentrent plus de 99 % de la radioactivité.

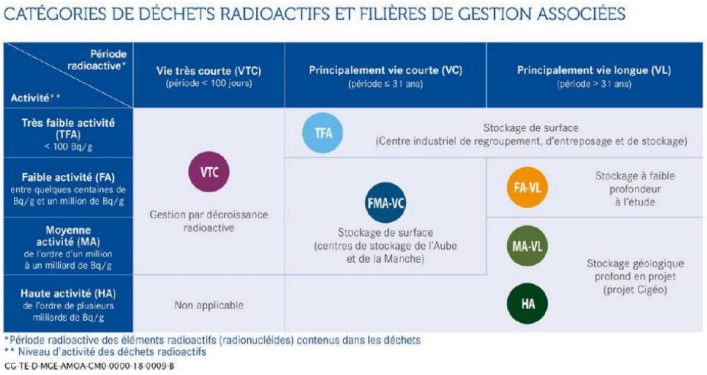


Figure 1 : Filières de gestion associées aux différentes catégories de déchets radioactifs – Source : dossier

Le cadre réglementaire : historique, importance de la concertation et situation actuelle

Le cadre français de gestion des déchets HA et MA-VL est issu d'une réflexion de plusieurs dizaines d'années, impliquant des travaux de recherche, des travaux parlementaires et des consultations du public.

La loi dite « Bataille » du 30 décembre 1991[4] a lancé un programme de recherche en trois volets (séparation-transmutation, stockage géologique profond, entreposage), a posé le principe de la prise en considération des droits des générations futures et a instauré l'obligation d'évaluer les solutions sur une période déterminée. Elle a également établi l'Andra comme l'établissement public à caractère industriel et commercial chargé de la gestion à long terme des déchets radioactifs, consistant à :

- participer à la définition et contribuer aux programmes de recherche et de développement concernant la gestion à long terme des déchets radioactifs (séparation / transmutation, entreposage de longue durée et stockage) ;
- identifier, concevoir, réaliser et exploiter les stockages adaptés aux différentes catégories de déchets radioactifs produits en France ;
- répertorier les déchets radioactifs et définir leurs spécifications de conditionnement.

Après la remise des conclusions des quinze années de recherches menées en application de la loi « Bataille », un débat public a été organisé sous l'égide de la Commission nationale du débat public (CNDP) sur la gestion des déchets radioactifs, préalablement à la rédaction d'une loi fixant les orientations retenues. Les éléments apparus lors du débat public de 2005-2006, puis l'examen par les parlementaires, ont conduit à des évolutions majeures du projet de loi s'agissant notamment de la prise en compte des matières radioactives (et non des déchets seulement), des objectifs pour la nouvelle phase de recherche, de la notion de réversibilité, des modalités de concertation locale, du dispositif d'accompagnement économique pour les territoires concernés et de la sécurisation des ressources financières nécessaires à la gestion des déchets radioactifs et au démantèlement des installations nucléaires. Ces travaux ont abouti, en juin 2006, à une actualisation du cadre légal par

[4] Loi n° 1991-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs.

deux textes majeurs : la loi de transparence et sécurité nucléaire[5] et la loi relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs[6].

Cette deuxième loi a confié à l'Andra le pilotage des travaux nécessaires au choix d'un site et à la conception d'un stockage réversible en couche géologique profonde, qui est affirmé dans l'exposé des motifs comme la solution de référence pour la gestion à long terme des déchets radioactifs HA et MA-VL. Elle a également créé un outil de pilotage pour la gestion des matières et des déchets radioactifs, le PNGMDR. La version initiale du projet de loi prévoyait une instruction de la demande d'autorisation de création du dispositif de stockage profond en 2018 et sous réserve de cette autorisation, la mise en exploitation en 2025. Ce calendrier a été notablement étendu à la suite du débat public organisé en 2013 sur Cigéo ; il a conduit à introduire le dépôt d'un dossier d'options de sûreté, préalable à la demande d'autorisation de création, une phase industrielle pilote et le principe d'un plan directeur de l'exploitation (PDE) régulièrement actualisé, afin d'améliorer la robustesse du projet. Comme pour la loi de 2006, la prise en compte de la consultation du public a donc eu un impact significatif sur l'évolution du projet. Le projet Cigéo est la concrétisation de ces travaux.

Les principales dispositions législatives relatives à la gestion durable des matières et des déchets radioactifs, dont le stockage en couche géologique profonde, se retrouvent dans les articles L. 542-1 à L. 542-14 du code de l'environnement.

Le PNGMDR

Le PNGMDR a pour objectif de décrire la stratégie française pour une gestion responsable et durable des matières et des déchets radioactifs, quelle que soit leur origine technique, dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement.

Pour ce faire, le PNGMDR doit répondre à plusieurs objectifs, définis à l'article L. 542-1-2 du code de l'environnement et répondant à une directive européenne[7]:

- dresser le bilan de la gestion existante des matières et des déchets radioactifs ;
- recenser les besoins prévisibles d'installations d'entreposage et de stockage ;
- préciser les capacités de ces installations et les durées d'entreposage ;
- déterminer les objectifs à atteindre pour les déchets sans mode de gestion définitif à ce jour ;
- organiser la mise en œuvre des recherches et études sur la gestion des matières et des déchets radioactifs ;
- fixer des échéances pour la mise en œuvre de nouveaux modes de gestion, la création d'installations ou la modification des installations existantes.

L'avancement du projet Cigéo ainsi que l'inventaire des déchets destinés à y être enfouis sont donc régulièrement examinés dans le cadre de ces travaux.

Ce plan est régulièrement révisé. Sa première édition a été publiée en 2007 ; il a ensuite fait l'objet d'une mise à jour triennale en 2010, 2013 et 2016. Le PNGMDR en vigueur aujourd'hui porte sur la

5 Loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire.
6 Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs.
7 Directive 2011/70/EURATOM du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs.

période 2022-2026, le débat public sur le 6e PNGMDR est en cours au moment où l'Ae délibère le présent avis. La périodicité des mises à jour du plan a été portée à cinq ans, par cohérence avec celle de la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE). Depuis l'entrée en vigueur de l'ordonnance du 3 août 2016, le code de l'environnement prévoit que la CNDP soit saisie et décide des modalités d'organisation de la participation du public en vue de l'élaboration d'une nouvelle édition du PNGMDR. Chaque nouvelle édition fait également l'objet d'un avis de l'Autorité environnementale.

La situation au niveau international

À ce jour, la communauté internationale des spécialistes du nucléaire converge largement vers le stockage géologique profond comme solution définitive pour l'isolement des déchets HA. Aucun pays ne met en œuvre une solution de gestion définitive autre.

Les autres approches étudiées restent à l'état de recherche et développement, sans faisabilité acquise (transmutation, stockage en puits forés très profonds), ou sont considérées comme des solutions transitoires (entreposage de longue durée).

La Suède a débuté les travaux de construction des installations de surface en janvier 2025 en vue d'un début d'exploitation à l'horizon 2035, et la Finlande a débuté des essais avec des colis tests en 2024 ; la réponse de l'autorité de sûreté pour la mise en service est attendue pour la fin 2025. Ces deux stockages sont construits dans une formation géologique granitique avec des colis de déchets adaptés (conteneurs en cuivre).

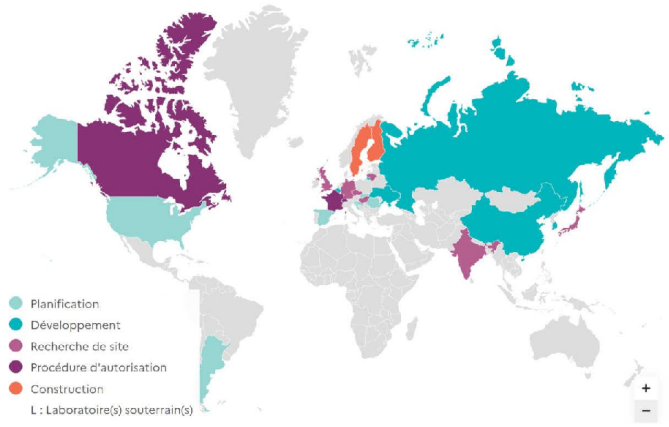


Figure 2 : Avancement des projets de stockages en couche géologique profonde - Source : site de l'Andra

Concernant les déchets MA-VL, un stockage est en activité aux États-Unis, dans une formation géologique saline à 700 mètres de profondeur, pour les déchets du programme militaire. Il a connu en 2014 deux accidents (un incendie et une réaction exothermique à l'intérieur d'un colis de déchets), qui ont entraîné la suspension de son activité jusqu'en janvier 2017 ; elle a repris ensuite.

1.1.2 Principes généraux de conception

Stockage en couche géologique profonde : objectif et fondements de la sûreté

L'objectif d'un stockage en couche géologique profonde, rappelé dans le dossier, est « *d'assurer une mise en sécurité passive définitive, et sur le très long terme, des colis de déchets HA et MA-VL actuellement entreposés chez les producteurs en attente d'une gestion durable. La mise en stockage des colis de déchets ajoute, au conditionnement de ces derniers, la possibilité d'un confinement passif des déchets radioactifs sur de grandes échelles de temps, adaptées à leurs caractéristiques radiologiques et physico-chimiques* ».

Le guide de sûreté de l'ASN relatif au stockage géologique profond[8] indique que « *les caractéristiques du site retenu, l'implantation de l'installation de stockage, la conception des composants artificiels (colis, composants ouvragés) et la qualité de leur réalisation constituent le fondement de la sûreté du stockage* ».

En France, le choix de l' « argilite »[9] comme couche géologique d'accueil pour le stockage a été fait à la suite des travaux de recherche menés sur le site de Bure.

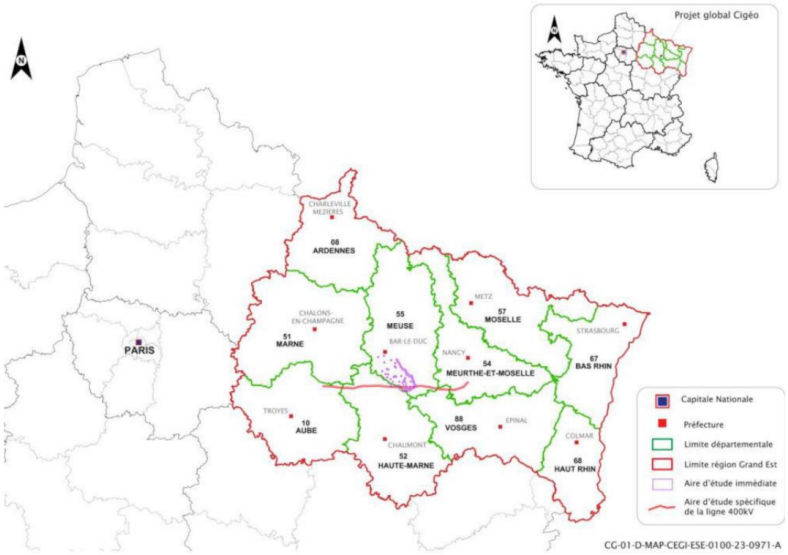


Figure 3 : Localisation du site Cigéo à Bure - Source : dossier

L'Andra a défini un projet d'implantation du stockage, conçu les composants ouvragés (galeries, alvéoles de stockage, liaisons surface-fond, etc.) destinés à accueillir les colis de déchets et porte les procédures relatives à l'autorisation du projet, incluant l'évaluation environnementale et la démonstration de sûreté du stockage dans son ensemble.

[8] Guide de sûreté de l'ASN du 12/02/2008, relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde.

[9] Les premiers dossiers parlent d'argile. L'argilite est une roche argileuse indurée à grain fin et très peu perméable. C'est dans des couches d'argilite que se fait l'exploitation des gaz de schistes. Les schistes ayant un potentiel économique gazier sont riches en matière organique (0,5 à 25 %) (Wikipédia).

Les colis de déchets, même s'ils sont pris en charge par l'Andra en vue de leur stockage dans l'installation Cigéo, restent de la responsabilité de leurs producteurs. La sûreté en exploitation et à long terme du stockage dépend en partie de la réalisation et du contenu de ces colis. Le présent avis pourra donc formuler des recommandations adressées aux producteurs.

Réversibilité

La loi du 25 juillet 2016 a défini la réversibilité 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* ».

L'Andra associe le principe de réversibilité à quatre enjeux : la progressivité de la construction, la flexibilité du fonctionnement (capacité à modifier le rythme de réception ou, dans une certaine mesure, les caractéristiques des colis acceptés), l'adaptabilité des installations et la récupérabilité. Elle indique que « *l'INB est conçue pour offrir des choix aux générations suivantes en matière de gestion des déchets radioactifs HA et MA-VL et pour ne pas les enfermer par des choix de conception faits au lancement du projet* ».

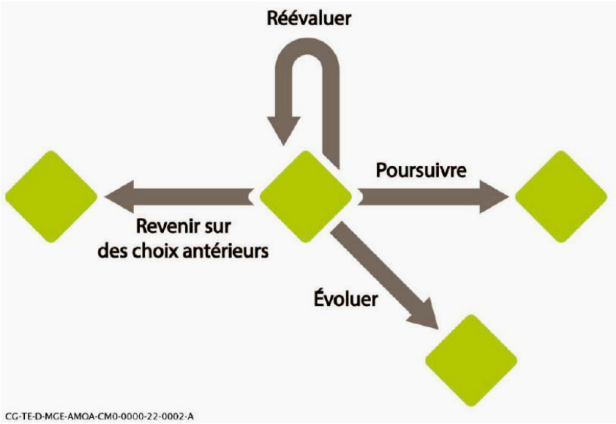


Figure 4 : Schéma synthétique des choix de réversibilité laissés au législateur et à la société civile – Source : dossier

La récupérabilité correspond à la capacité pratique à retirer les colis stockés. L'Agence de l'énergie nucléaire (AEN) a établi une échelle internationale de récupérabilité (cf. figure 5), composée de six niveaux, qui illustre la complexité croissante (enjeux techniques, financiers et calendaires) de récupération des colis au fur et à mesure que l'on atteint les phases avancées de fermeture du stockage (fermeture, post-fermeture), et la prédominance des dispositions de sûreté passive.

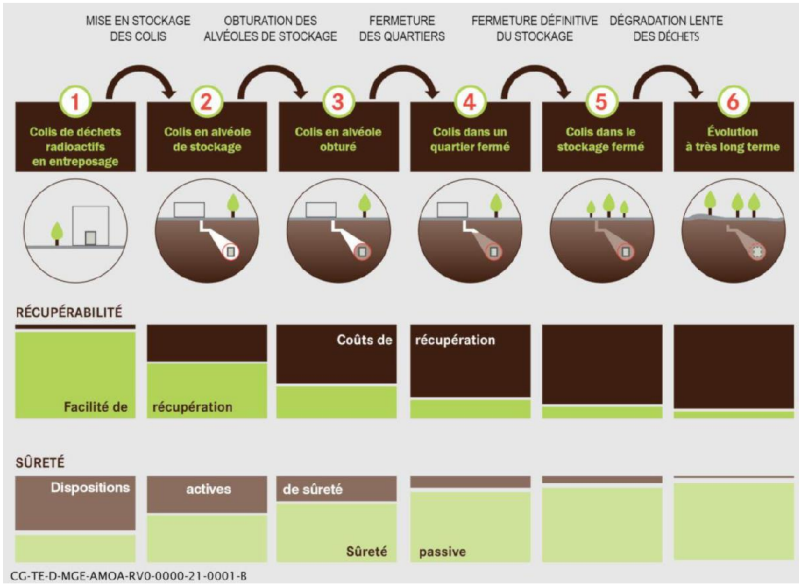


Figure 5 : Échelle internationale de récupérabilité établie par l'AEN – Source : dossier

Afin de discuter et décider de la mise en œuvre des possibilités offertes par la réversibilité, l'organisation périodique de « revues de la mise en œuvre du principe de réversibilité » est prévue au moins tous les cinq ans.

Inventaire

L'inventaire est un paramètre important du dimensionnement du projet Cigéo. L'article D. 542-91 du code de l'environnement dispose que : « *L'inventaire sur lequel l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs se fonde pour mener les études et recherches relatives à la conception du centre de stockage prévu à l'article L. 542-10-1 comprend, pour l'application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, un inventaire de référence et un inventaire de réserve* ».

La conception initiale de l'installation prend en compte les caractéristiques de l'ensemble des colis de l'inventaire de référence pour dimensionner les ouvrages et les équipements et réaliser les études de sûreté en vue de l'autorisation.

L'inventaire de référence comprend les déchets HA et MA-VL déjà produits et ceux qui seront produits à l'avenir par les installations nucléaires existantes et par celles dont la création a été autorisée jusqu'à fin 2016 (incluant donc l'EPR de Flamanville, ITER et le réacteur expérimental Jules Horowitz), jusqu'au terme prévisible de leur fonctionnement, puis de leur démantèlement.

L'inventaire de réserve est quant à lui composé des déchets dont le stockage ne constitue pas la solution de gestion de référence, mais pour lesquels il est nécessaire de s'assurer que la conception initiale ne retient pas d'options rédhibitoires à leur stockage. Cette vérification est réalisée au travers d'études d'adaptabilité, qui portent sur les éléments techniques du dimensionnement et sur la

capacité à atteindre la démonstration de la sûreté de leur stockage. Des études d'adaptabilité sont donc présentées dès le dossier de demande d'autorisation de création (DAC).

En cohérence avec les orientations du projet de PPE 2025-2035, l'inventaire de réserve intègre les déchets radioactifs qui résulteraient du prolongement du fonctionnement jusqu'à 60 ans des 57 réacteurs du parc actuel ainsi que des six réacteurs EPR2 en projet pour un fonctionnement de 60 ans. Il intègre également le stockage direct des combustibles usés d'EDF dans une hypothèse d'arrêt de leur retraitement, les combustibles usés des réacteurs expérimentaux du CEA et de l'Institut Laue-Langevin, les combustibles usés de la propulsion nucléaire navale et les déchets FA-VL (notamment les colis de déchets bitumés FA-VL et les déchets de graphite) qui ne disposent pas à ce jour d'une filière de gestion dédiée.

Les choix de politique énergétique peuvent mener à des configurations différentes de l'inventaire de réserve. Dans le cadre du PNGMDR 2022-2026, le choix a été fait de retenir deux scénarios contrastés pour l'élaboration des études d'adaptabilité associées :

- le scénario de multi-recyclage en réacteur à eau pressurisée (MRREP), avec une durée de fonctionnement portée à 60 ans pour l'ensemble du parc actuellement en service et les six EPR2. Ce scénario maximise les déchets issus du retraitement (HA vitrifiés et MA-VL) stockés ;
- le scénario d'arrêt du retraitement, retenant l'arrêt anticipé du retraitement des combustibles usés en 2040, associé au fonctionnement pendant 60 ans du parc électronucléaire composé des 57 réacteurs en fonctionnement et des six EPR2 en projet. Ce scénario maximise la quantité de combustibles usés requalifiés en déchets à stocker directement sans retraitement préalable (cf. figure 19).

Au-delà de l'inventaire de réserve, la prise en compte des évolutions de politique énergétique moins avancées en termes de décision, telles que huit réacteurs EPR2 supplémentaires aux six EPR2 déjà annoncés, ne font pas partie de la demande d'autorisation de création. Des études prospectives sont en cours par l'Andra pour éclairer les décisions de l'État. La question de leur prise en charge a été évoquée dans le rapport GP1 N° 2024-00212, dans lequel l'IRSN *« observe qu'au stade actuel de développement et au vu des connaissances relatives au site, la capacité de stockage de cette installation ne paraît pas pouvoir être développée de manière illimitée. Dans l'hypothèse d'un éventuel futur parc (huit EPR2 supplémentaires, SMR[10], RNR, etc.), la capacité de l'installation à stocker davantage de déchets devra être évaluée sur la base de nouvelles études ».*

Le dossier de création de Cigéo intervient alors que deux documents de planification importants, la future troisième programmation pluriannuelle de l'énergie et le PNGMDR 2026-2031, sont en phase finale d'élaboration. La question de la capacité de Cigéo à accueillir l'ensemble des déchets HA et MA-VL dépend des choix qui seront précisés dans ces deux documents. L'enquête publique sur l'autorisation de création est donc susceptible d'intervenir postérieurement à ces deux documents sans en tenir compte, ce qui interroge quant à la cohérence du calendrier et à la participation effective du public à la décision.

L'Ae recommande de compléter le dossier en tenant compte de la troisième PPE et du PNGMDR 2026-2031 avant la consultation du public sur la demande d'autorisation de création.

[10] SMR : « Small modular reactor » ou petit réacteur modulaire. Il s'agit de réacteurs à fission nucléaire de petite taille et faible puissance, de l'ordre de 10 à 300 MWe.

1.2 Présentation du projet, de ses aménagements et de son périmètre

1.2.1 Définition des secteurs d'étude et d'implantation du stockage souterrain

Sur la base de reconnaissances de terrain (forages, études sismiques...), l'Andra a défini une « zone de transposition » (ZT) dans laquelle les résultats obtenus au sein du laboratoire de recherche souterrain de Bure pouvaient être extrapolés. Sa surface est de 250 km².

Plusieurs emplacements dans la formation géologique du Callovo-Oxfordien ont été proposés pour l'implantation des ouvrages de stockage. Leur comparaison a permis d'aboutir fin 2009 à la sélection de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (Zira) de 35 km². Selon le dossier, il s'agit de l'implantation la plus favorable au regard des critères de protection de la santé humaine et de l'environnement, en particulier sur le très long terme, évitant les villages et privilégiant une desserte par voie ferroviaire du centre de stockage. Cette zone a fait l'objet d'investigations complémentaires qui ont confirmé sa capacité à accueillir les ouvrages de stockage.

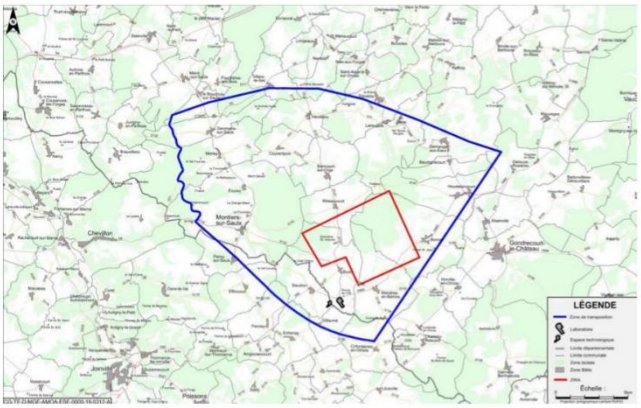


Figure 6 : La Zira au sein de la zone de transposition – Source : dossier

L'Andra a intégré à la zone d'implantation des ouvrages souterrains (Zios) du centre de stockage Cigéo, l'ensemble du bloc de Callovo-Oxfordien défini par la Zira, dans lequel se déploient les ouvrages de stockage, ainsi que les couches géologiques sus-jacentes accueillant les puits et les descenderies pour l'accès depuis les installations de surface. La Zios représente une surface de 29 km².

1.2.2 Présentation du projet d'ensemble et de ses aménagements

Les colis de déchets seront acheminés à la zone « descenderie » (ZD), à l'ouest du site, à cheval sur les départements de la Haute-Marne et de la Meuse, par une voie ferrée spécifique (installation terminale embranchée – ITE) reliée au réseau ferré national sur la commune de Gondrecourt-le-Château. Ils seront alors contrôlés et préparés pour être acheminés par funiculaire vers le centre de stockage situé dans la Zios. Cette zone comporte une zone « puits » (ZP) permettant d'accéder aux espaces souterrains de stockage et de poursuivre le creusement de cavités. Une liaison intersites en surface (LIS) permet les circulations et transports de marchandises entre les deux sites par voie routière et au moyen d'un transporteur à bande enterré.

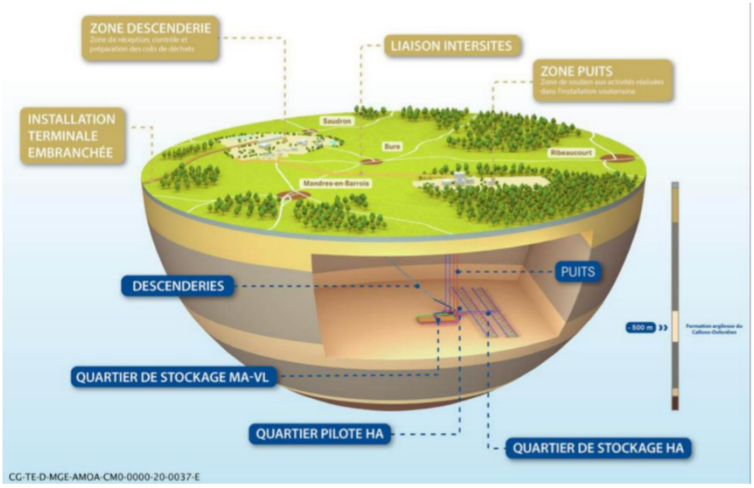


Figure 7 : Illustration de l'organisation des installations du centre de stockage Cigéo – Source : dossier

Aménagements de surface du stockage

La surface de la zone descenderie est d'environ 300 ha. Son emprise est située à l'ouest du laboratoire souterrain de l'Andra, dans la Meuse sur la commune de Bure et dans la Haute-Marne sur les communes de Gillaumé et Saudron.

Deux bâtiments nucléaires sont envisagés : le premier, de 32 000 m², accueillera et conditionnera les colis de déchets de haute activité dégageant peu de chaleur et le second, de 20 000 m², ceux dégageant de la chaleur. Ce second bâtiment est prévu pour une mise en service entre 2070 et 2080. Ils sont équipés d'unités de filtration de très haute efficacité et d'une cheminée de 40 m de hauteur. Ils sont reliés par une galerie de 100 m de longueur à la tête de la descenderie des colis. Celle-ci, d'une surface au sol de 7 000 m², est reliée par funiculaire au stockage souterrain. Toutes les opérations de manipulation des déchets seront automatisées et vidéo surveillées. Le terminal ferroviaire de réception des colis s'étendra sur environ 35 000 m².

L'ensemble est clôturé. Les bâtiments sont ceinturés par une paroi enterrée d'une profondeur de 18 mètres.

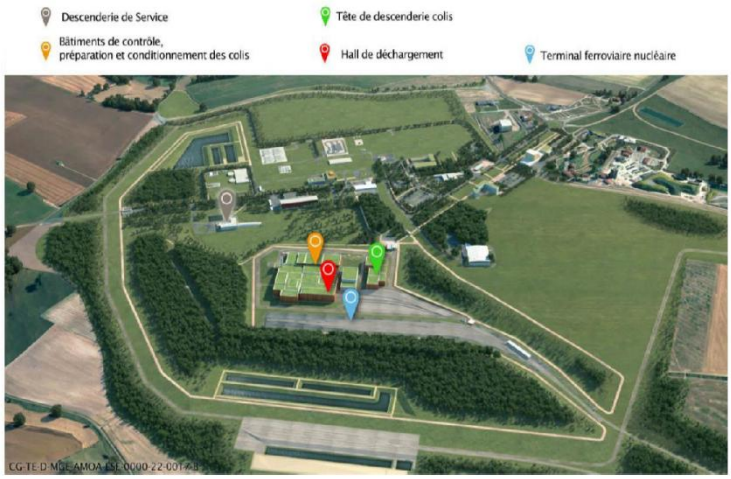


Figure 8 : Vue schématique de la zone descenderie – Source : dossier

La surface de la zone puits est d'environ 200 ha sur les communes de Mandres-en-Barrois et Bonnet dans la Meuse. Sa vocation est de permettre les activités souterraines de déploiement progressif des zones de stockage. Elle ne comporte pas d'activités nucléaires. Plusieurs puits, dont les tours auront des hauteurs comprises entre 45 et 60 mètres, seront creusés vers la zone de stockage souterrain. Au nord de la zone puits, trois espaces successifs, notés Z1 à Z3, sont prévus pour déposer les verses[11]. Les matériaux extraits sont de deux natures : les verses vives[12], stockées sur Z1, qui pourront servir à refermer le stockage dans un siècle à un siècle et demi et les verses mortes,



Figure 9 : Vue schématique de la zone puits – Source : dossier

stockées sur Z2, dont les possibilités de valorisation font l'objet de travaux en cours. L'ensemble représente 11 000 000 m³ d'argilite dont 40 % de verses vives déposées sur une hauteur de 20 m

[11] Lieu où sont déversés des matériaux en vrac (verse à stérile, ou terril, verse à remblai)
[12] Verses qui seront réutilisées pour remblayer les galeries lors de la fermeture du site (environ 40 % des verses).

et végétalisées en surface. Dans l'hypothèse où les verses mortes ne seraient pas valorisables, 39 ha supplémentaires seront mobilisés sur Z3.

Les installations du stockage souterrain

Les ouvrages souterrains seront déployés au fur et à mesure de l'exploitation du stockage. Ils seront situés à 500 m sous la surface au sein de la couche d'argilite du Callovo-Oxfordien. Les communes surplombant le stockage souterrain sont toutes situées dans le département de la Meuse : Mandres-en-Barrois, Bonnet, Bure, Ribeaucourt, Houdelaincourt et Saint-Joire.

Les installations souterraines comportent les éléments présentés sur la figure 10, notamment deux descenderies parallèles d'environ 4 kilomètres, cinq puits, deux quartiers de stockage distincts pour les déchets HA et MA-VL accessibles chacun par deux galeries, une pour l'exploitation, l'autre pour les travaux. Les travaux souterrains seront organisés en zone de travaux et en zone d'exploitation, équipées d'usines de ventilation.

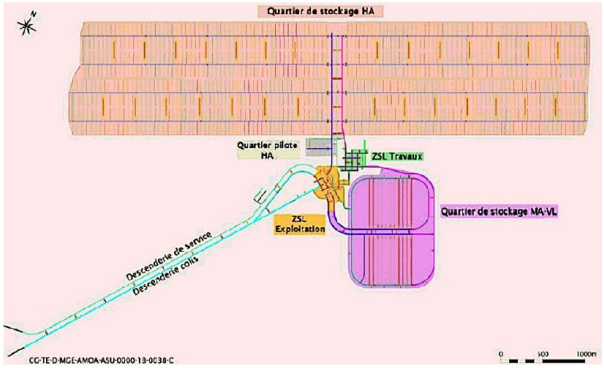


Figure 10 : Organisation des installations en sous-sol pour le stockage des déchets radioactifs HA et MA-VL – Source : dossier

Les déchets seront déposés au sein des structures ventilées suivantes :

- pour les déchets HA0 (les déchets à haute activité les plus faiblement exothermiques), des alvéoles borgnes en béton de diamètre 60 cm et de longueur 20 m avec un chemisage en acier ;
- pour les autres déchets HA, des alvéoles borgnes en béton de diamètre 60 cm et de longueur 150 m avec un chemisage en acier ;
- pour les déchets MA-VL, des alvéoles en béton de diamètre 8 m et de longueur 500 m.

Compte tenu de l'échéance éloignée de la mise en service du quartier de stockage HA, des évolutions de concepts différents de celui qui figure dans la demande d'autorisation de création sont étudiées, en lien avec la poursuite des développements technologiques et de l'acquisition de connaissances. Ce pourrait être par exemple une alvéole de longueur HA de 300 m et débouchant sur une galerie à chaque extrémité.

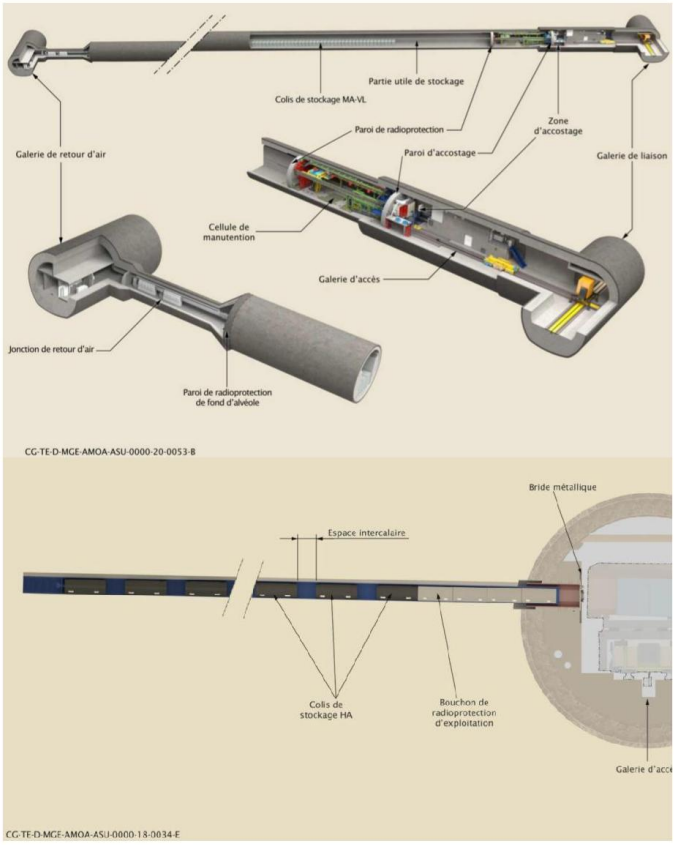


Figure 11 : Schéma illustratif d'un alvéole MA-VL – Source : dossier

Figure 12 : Coupe longitudinale d'une alvéole HA- Source : dossier

La superficie du stockage a été estimée sur la base de la PPE 2019-2028 pour différentes hypothèses : un scénario minimaliste, l'inventaire de référence, et des scénarios indiqués comme maximalistes fondés sur les inventaires de réserve (dont le scénario MRREP) avec stockage sur site des déchets FA-VL.

Pour un projet dont la durée d'exploitation s'étendrait jusqu'à l'année 2150 environ (cf. figure 19), il n'a pas été étudié de scénarios prévoyant un développement de l'énergie nucléaire plus important que les projets prévus à ce jour (SMR, autres EPR2...) Il n'a pas non plus été étudié de scénarios qui verraient l'arrêt complet de la production nucléaire à une date non connue (du fait d'un changement radical de la politique énergétique ou pour d'autres raisons...) et où l'ensemble des matières nucléaires (uranium appauvri, uranium et plutonium de retraitement...) ne trouveraient plus d'utilisation et seraient reclassées en déchets radioactifs avec pour seul débouché Cigéo. Il paraît nécessaire d'étudier la situation la plus défavorable quant aux quantités de déchets à stocker à Cigéo et surtout quant aux surfaces nécessaires pour les stocker (scénario « hypothèses les plus défavorables »).

La possibilité d'une surface insuffisante de stockage semble d'ailleurs envisagée. Ainsi, l'extension de la zone de stockage au-delà des 29 km² de la Zios a été abordée lors de l'instruction technique du dossier de la demande d'autorisation de création par l'IRSN. Dans son rapport N°2024-00212,

l'IRSN « *estime nécessaire que l'Andra évalue dans ses études d'adaptabilité de Cigéo, en vue du bilan de la phase pilote, l'impact sur la sûreté de l'extension du stockage à des zones de la ZT où les valeurs des critères de choix de site seraient différentes de celles retenues pour définir la ZIOS, en tenant compte d'incertitudes relatives à l'inventaire ainsi qu'aux aléas de construction de l'installation* ». Cette mention a conduit l'Andra à prendre l'engagement 2024-E16 « *Dans le cas où les évolutions de politiques énergétiques conduiraient à identifier, en fin de la phase industrielle pilote (Phipil), des scénarios qui pourraient amener à étendre le stockage au-delà de la 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* ».

Pour la complète information du public et dès le stade de la demande d'autorisation de création, il serait nécessaire d'avoir une estimation des surfaces maximales qui pourraient être nécessaires pour le stockage souterrain Cigéo, et de les limiter aux capacités d'accueil de la roche hôte.

L'Ae recommande d'estimer la superficie maximale qui pourrait être nécessaire pour le stockage des déchets radioactifs en retenant les hypothèses les plus défavorables envisageables sur la durée d'exploitation de Cigéo, et de confirmer sa compatibilité avec les capacités d'accueil de la roche hôte.

	Stockage HA ou HA/CU, km²	Stockage MA-VL, km²	Stockage FA-VL, km²	Total, km²
Inventaire de référence (base PPE 2019-2028)	9	1,5		10,5
Inventaire de réserve (MRREP) + FA-VL	14	1,5	0,6	16,1
Inventaire de réserve + FA-VL	22, dont 80 % pour les CU		0,6	24,1
hypothèses les plus défavorables	Non estimée	Non estimée	Non estimée	Non estimée

Tableau 1 : Superficie nécessaire selon les hypothèses de déchets stockés (la zone d'implantation des ouvrages souterrains de stockage - Zios - a une superficie de 29 km²) - Source : dossier
CU : combustible usé.

Périmètres INB

Le périmètre INB de Cigéo est représenté sur le schéma figure 13.

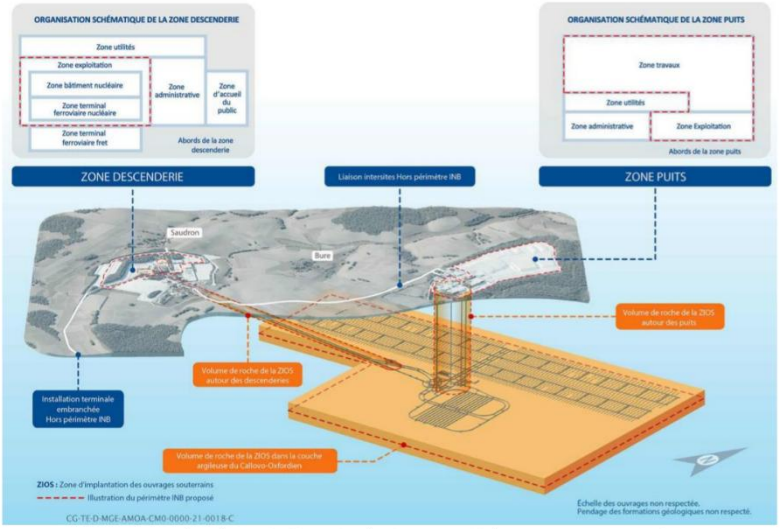


Figure 13 : Périmètre de l'INB Cigéo (en pointillé rouge) – Source : dossier

Périmètres de sauvegarde autour du site Cigéo

L'Andra n'a pas demandé l'instauration de servitudes d'utilité publique pour prévenir ou réduire les risques autour de son installation comme le permet l'article L. 593-5 du code de l'environnement. Sur la base des études produites, elle considère que, même pour les scénarios accidentels les plus sévères, les seuils d'effets irréversibles ne seraient pas dépassés et, qu'en fonctionnement normal, aucune pollution chimique ou radiologique du sol ne serait attendue.

L'Andra a en revanche demandé à l'ASNR l'institution d'un périmètre de droit de protection des ouvrages souterrains du centre de stockage en application de l'article L. 542-9 du code de l'environnement. Il comprend l'ensemble du territoire inclus dans un rayon de 10 km à partir des angles de la Zios. Il concerne essentiellement les impacts possibles des forages et pompages au-dessus et à proximité du centre de stockage Cigéo, qui pourraient notamment entraîner une modification des écoulements hydrogéologiques ou porter atteinte à l'intégrité des ouvrages souterrains. Sera également interdite toute activité de recherche de gîtes contenant des substances minérales, fossiles ou de gîtes géothermiques.

1.2.3 Les déchets radioactifs stockés à Cigéo

Responsabilité et propriété des terrains et des déchets

L'Andra a mis en œuvre des procédures juridiques lui permettant de n'être propriétaire que des seuls volumes de tréfonds (au-dessus desquels il n'y a pas d'installation de surface) qui accueilleront des colis de déchets, sans être propriétaire des emprises de surface (division foncière en volume). Une ordonnance d'expropriation a ainsi été délivrée en avril 2025 qui acte du transfert de propriété au bénéfice de l'Andra de l'ensemble des volumes de tréfonds nécessaires à la réalisation de la tranche 1. D'autres procédures similaires seront mises en œuvre pour la poursuite de l'exploitation comme le permet le décret de DUP délivré en juillet 2022.

L'Andra ne devient pas propriétaire des déchets après leur stockage : elle est responsable de la garde du déchet et de son comportement à l'intérieur du stockage uniquement. Les producteurs de déchets en restent seuls propriétaires. En cas de défaillance de leurs producteurs ou détenteurs, l'État est responsable en dernier ressort de ces substances et peut charger l'Andra d'en assurer la gestion (article L. 542.1 du code de l'environnement), à la charge, en conséquence, des générations contemporaines de cette situation le cas échéant.

Dans la réglementation actuelle, les propriétaires des surfaces situées à la verticale des installations souterraines ne deviendront jamais propriétaires des déchets qui seront stockés dans ces zones.

Nature et conditionnement des déchets

La conception des conditionnements relève de la responsabilité des producteurs de déchets (CEA, EDF, Orano). Certains conditionnements de déchets en colis restent à ce jour « *à définir* » (AD).

La production des futurs colis est soumise à l'accord préalable de l'ASNR qui sollicitera l'Andra pour avis ou sera, à terme, intégrée dans le processus d'approbation prévu à cet effet.

L'Andra est fréquemment sollicitée en amont de la définition de nouveaux conditionnements afin d'accompagner les producteurs, puis systématiquement dans le cadre de leur approbation. Elle peut alerter les producteurs sur d'éventuelles incompatibilités des solutions envisagées avec le stockage, ainsi que sur les impacts de ces solutions sur la conception ou la démonstration de sûreté de l'installation

Conditionnement des déchets

Conditionnement des déchets MA-VL

Les colis MA-VL contiennent des déchets constitués d'éléments de structure des combustibles usés ou liés au fonctionnement et au démantèlement des installations nucléaires. Ces déchets radioactifs se trouvent sous forme solide ou liquide. Pour pouvoir les manipuler, les entreposer, les transporter et les stocker, ils sont conditionnés sous différentes formes de colis.

Certains colis, en raison de leurs caractéristiques, peuvent être stockés directement. Mais les colis primaires sont pour la plupart placés dans des conteneurs de stockage. Certains déchets, notamment les déchets métalliques issus du fonctionnement ou démantèlement des INB sont directement placés dans un conteneur et immobilisés par un liant hydraulique qui est coulé dans ce conteneur (« enrobage »). D'autres (gaines de combustible...) sont compactés avant d'être placés dans un conteneur. Les déchets liquides sont traités puis mélangés à un matériau (bitume, ciment, verre...) pour les solidifier avant d'être introduits dans un conteneur.

Conditionnement des déchets HA

Les colis de déchets HA correspondent principalement aux déchets vitrifiés issus du traitement des combustibles usés. Il s'agit de produits de fission et d'actinides mineurs[13] formés par réaction nucléaire au sein du combustible lors de son utilisation en réacteur. Lors du traitement, ils ont été

[13] Ils représentent une quantité très infime du volume des déchets nucléaires, mais ce sont les éléments dont la radioactivité, très importante, dure le plus longtemps. Exclusivement générés au sein des réacteurs nucléaires, les actinides mineurs sont des descendants des isotopes de l'uranium. Source : SFEN

séparés de l'uranium et du plutonium, matières radioactives valorisables. Ils sont calcinés et incorporés dans une matrice de verre. Le « verre » en fusion ainsi élaboré est coulé dans un conteneur en acier inoxydable (« colis standard de déchets vitrifiés ou CSD-V »). Chaque population de colis de déchets vitrifiés est produite selon une spécification de production élaborée par Orano La Hague et fonction du type de combustible retraité. Celle-ci encadre les caractéristiques du colis produit pour garantir une homogénéité des colis, notamment en termes de décroissance thermique.

D'autres colis de déchets HA sont également produits en quantité très limitée, notamment des colis de déchets technologiques issus du fonctionnement des ateliers de vitrification de La Hague ou de sources scellées du CEA.

Les colis de déchets HA sont répartis en trois catégories selon leur niveau de puissance thermique et son profil de décroissance en lien avec la décroissance radioactive :

- la catégorie HA0 regroupe les déchets HA moyennement exothermiques à la mise en stockage ;
- la catégorie HA1 regroupe les déchets HA fortement exothermiques à la mise en stockage ;
- la catégorie HA2 se distingue de la catégorie HA1 par une part accrue d'actinides dans les déchets, susceptibles de ralentir la décroissance thermique.

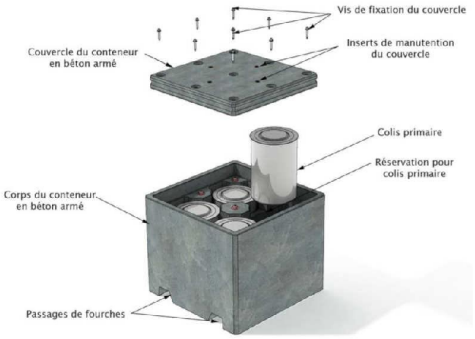


Figure 14 : Mise en conteneur de stockage de colis de déchets primaires MA-VL- Source : dossier

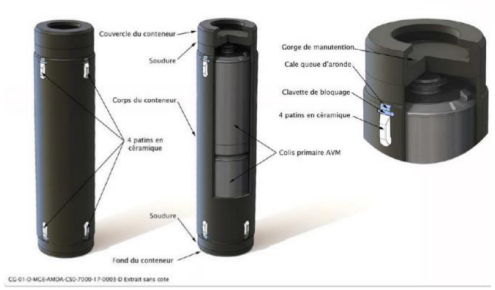


Figure 15 : Conteneur de stockage HA pour colis primaire de déchets vitrifiés - Source : dossier

Conditionnement des combustibles usés

Le stockage direct des combustibles usés (CU) n'est pas prévu en référence dans Cigéo, néanmoins au titre des études d'adaptabilité pour l'accueil de l'inventaire de réserve, les études sont menées pour vérifier l'absence d'élément rédhibitoire à leur stockage. Ces études portent notamment sur les paramètres géométriques compte tenu des dimensions de ces colis.



Figure 16 : Illustration d'un conteneur de stockage de colis de combustible usé et comparaison avec celui d'un colis de déchet HA– Source : dossier

1.2.4 Coût et financement

L'arrêté « coût » (pris par la ministre chargée de l'énergie) définit un coût « objectif » assigné à l'Andra, sur le très long terme pour l'étude et la réalisation de Cigéo, sur la base de l'inventaire de réserve et hors mise en œuvre d'interventions de réversibilité. Ce coût est mis à jour au moins lors de l'autorisation de création du centre de stockage, de sa mise en service, de la fin de sa phase industrielle pilote et de chacun de ses réexamens périodiques (article D. 542-94 du code de l'environnement). Il est actuellement fixé à 25 milliards d'euros (Md€) aux conditions économiques du 31 décembre 2011.

Les producteurs de déchets radioactifs restant propriétaires de leurs déchets, ils doivent disposer des capacités financières pour assurer leur gestion à long terme. La fixation du coût de Cigéo fournit aux producteurs de déchets une référence pour leur obligation de constitution de provisions et d'abondement des fonds dédiés au financement de la gestion des déchets qu'ils produisent. Fin 2024, les provisions constituées s'établissent à 18,7 Md€ aux conditions économiques courantes[14].

1.2.5 Périmètre du projet

Outre les éléments décrits ci-dessus, l'Andra inclut dans son projet d'ensemble d'autres opérations :

- la liaison qui relie les deux sites : d'une emprise totale de 46 ha, elle sera située sur les communes de Bure et Mandres-en-Barrois. Elle se compose d'une route ouverte au public de 5 km reliée à la RD 60/960 permettant l'accès aux sites et aux parcelles des exploitations agricoles et de deux infrastructures privées de 4 km : une piste routière et une bande transporteuse semi-enterrée ;
- l'installation ferroviaire terminale embranchée (ITE), d'une emprise totale de 112 ha, aura une longueur de 14 km dont 10 km en réhabilitation d'une ancienne voie ferrée désaffectée. Cette opération est sous maîtrise d'ouvrage de SNCF Réseau. Elle servira à acheminer les colis de déchets et les matériaux nécessaires aux travaux. Le trafic prévu, exclusivement diurne, est de

[14] Les provisions constituées sont destinées à couvrir la gestion des déchets produits, dont une grande part pour payer leur stockage à Cigéo, mais également le traitement « amont » des déchets et leur entreposage éventuel pour décroissance ou attente de leur acceptation sur Cigéo.

trois trains de fret par jour pendant la construction, puis de huit à 76 trains de déchets par an et un à deux trains de fret par semaine, en phase d'exploitation ;

- le renforcement de la ligne à 400 000 V, qui jouxte le site, son raccordement à un poste transformateur et la liaison électrique souterraine 90 000 V qui alimente le site. La ligne et ses aménagements sont sous maîtrise d'ouvrage de Réseau de transport d'électricité (RTE). L'implantation exacte du transformateur n'est pas encore déterminée ;
- d'autres aménagements sont rendus nécessaires : l'adduction d'eau potable (sous maîtrise d'ouvrage des syndicats intercommunaux locaux d'alimentation en eau potable), l'aménagement de la ligne ferroviaire 027000 jusqu'à l'ITE et la construction d'une plateforme logistique ferroviaire à Gondrecourt, sous maîtrise d'ouvrage de SNCF Réseau, la déviation de la route départementale pour longer la plateforme de la descenderie, sous maîtrise d'ouvrage du conseil départemental de la Haute-Marne.

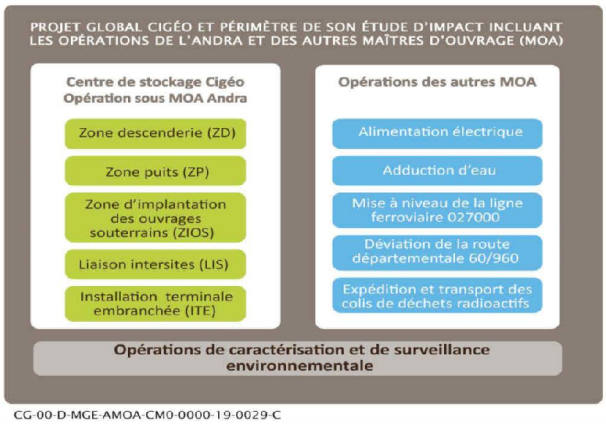


Figure 17 : Périmètre du projet d'ensemble Cigéo selon le dossier – Source : dossier

L'article L. 122-1 III du code de l'environnement précise que « *Lorsqu'un projet est constitué de plusieurs travaux, installations, ouvrages ou autres interventions dans le milieu naturel ou le paysage, il doit être appréhendé dans son ensemble, y compris en cas de fractionnement dans le temps et dans l'espace et en cas de multiplicité de maîtres d'ouvrage, afin que ses incidences sur l'environnement soient évaluées dans leur globalité* ». C'est en ce sens que l'Ae a recommandé dans ses précédents avis d'inclure la fabrication des colis de déchets dans le périmètre du projet d'ensemble Cigéo pour tous les colis produits après la décision de réalisation du centre ou qui devront être reconditionnés pour être acceptés.

Les spécifications à respecter (dimensionnement volumétrique, facteurs d'émission thermique et radiologique...) sont fixées par l'Andra et font l'objet d'une instruction par l'ASNR et régissent l'ensemble des colis primaires, quelles qu'en soient les origines et les destinations. Le choix fait dans le cadre du projet Cigéo s'inscrit dans la responsabilité continue du producteur sur son déchet et sur le colis primaire. En cas de non-conformité, le colis primaire est renvoyé au producteur pour reconditionnement (pour les anciens colis comme pour les nouveaux). Cette approche suppose que les producteurs soient en mesure d'assurer cette fonction, ce qu'il convient dès lors d'évaluer.

Or, le périmètre du projet se limite dans le dossier à sa dimension la plus réduite, à savoir le stockage des déchets HA et MA-VL de l'inventaire de référence et une Zios, alors même que des travaux sont en cours ou ont fait l'objet d'engagements pour étudier la faisabilité de stockages d'autres déchets,

comme ceux de l'inventaire de réserve, de plutonium séparé ou de rebuts de Mox[15] ou d'une extension de la Zios (cf. parties 1.2.2 et 2.2). L'élargissement du stockage aux déchets HA et MA-VL de l'inventaire de réserve, voire à des déchets FA-VL ou à d'autres déchets et matières radioactives reclassées en déchets paraît vraisemblable et doit donc être anticipé, le sujet des limites à poser à ces possibles extensions nécessitant d'être analysé et débattu.

L'Ae recommande de considérer le projet d'ensemble sur la durée dans un scénario plus inclusif que les seuls inventaires de référence ou de réserve et d'en tirer les conséquences en matière d'évaluation des incidences.

1.2.6 Calendrier réglementaire et technique – consultations du public

Calendrier réglementaire et technique

Le calendrier réglementaire et technique prévoit la succession de différentes phases, dont l'enchaînement temporel est présenté sur la figure **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** :

- la phase d'aménagements préalables commence avec la déclaration d'utilité publique. Elle comprend les travaux nécessaires à la sécurisation des sites, la viabilisation et l'organisation des plateformes de défrichement, l'archéologie préventive et le terrassement, ainsi que les opérations de raccordement des autres maîtres d'ouvrage ;
- la phase de construction initiale commence à la publication du décret d'autorisation de création de l'INB du centre de stockage Cigéo. Elle comprend la construction des installations de surface, le creusement et la construction des premiers ouvrages souterrains ;
- la phase de fonctionnement commence à la délivrance de l'autorisation de mise en service de l'INB par l'ASNR qui permet de débuter la réception et la mise en stockage des premiers colis de déchets radioactifs ;
- la phase de démantèlement et de fermeture commence à la publication du décret de démantèlement de l'INB. Les travaux de surface comprennent le démontage d'équipements, l'assainissement des locaux et des sols, ainsi que la destruction des structures de génie civil. En souterrain, les opérations consistent principalement au démontage des équipements et à la construction d'ouvrages complémentaires à la barrière géologique (remblais, ouvrages en béton, scellement des galeries, puits et descenderies) ;
- les phases de surveillance et de post surveillance commencent avec la loi autorisant la fermeture définitive de l'INB.

La phase industrielle pilote (Phipil) est prévue par le code de l'environnement (article L. 542-10-1). Ses objectifs et critères de réussite seront fixés par le PNGMDR. Elle permettra de réaliser tous les essais en vraie grandeur. Pendant les dix à quinze premières années de cette phase pilote, toutes les manipulations seront éprouvées sur des colis non radioactifs. Puis, dans une deuxième phase de cinq à dix ans, après autorisation de mise en service de l'INB, des colis radioactifs pourront être manipulés, toujours à titre expérimental.

[15] Engagement de l'Andra auprès de l'ASNR : « *2024-E1 – En complément des études d'adaptabilité basées sur l'inventaire de réserve dont le contenu a été validé dans le cadre de la 4ème édition du PNGMDR, l'Andra établira, en amont de l'enquête publique, une feuille de route pour la réalisation d'étude complémentaire relative à la faisabilité du stockage du Pu séparé et des rebuts de MOx* ».

Le dossier indique que la fermeture des alvéoles pourra être anticipée préalablement à la fermeture définitive « *si les générations en charge du centre de stockage le décident* ». La manutention des colis entre le pied de la descenderie et les alvéoles fait appel à des chariots permettant le chargement et le déchargement automatiques des colis. Le dossier indique que le déstockage d'un colis pourrait durer un peu moins longtemps que son stockage. Il n'est pas explicité comment sera organisée l'extraction d'une série de colis tout au long d'une alvéole. La faisabilité du cheminement inverse d'un ensemble de colis sur une distance pouvant atteindre 150 m reste à démontrer, compte tenu des compléments de démonstration demandés par l'ASNR sur le concept d'alvéole dans son avis.

Les opérations liées au démantèlement et à la surveillance de long terme ne sont pas décrites du fait de leur décalage dans le temps. Elles feront l'objet d'études d'impact le moment venu. Si la notion de démantèlement est difficile à prendre en considération à ce stade, elle peut cependant avoir des conséquences sur les décisions à prendre à court terme sur les usages du territoire.

L'Ae rappelle sa recommandation de voir présentée, dès cette demande d'autorisation de création, les modalités de la surveillance à long terme.

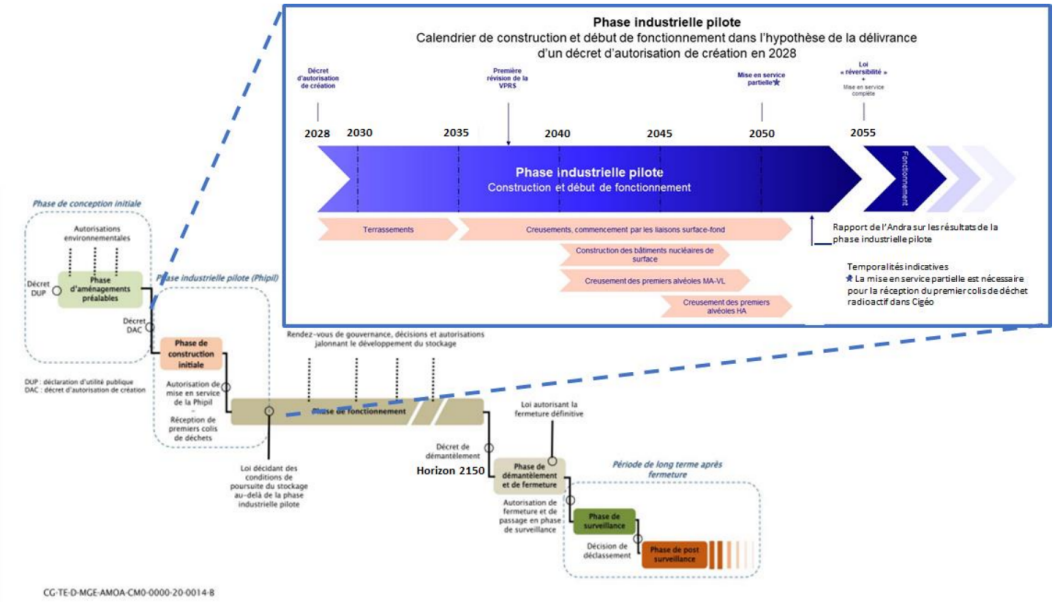


Figure 18 : Phasage du projet Cigéo (en bas : selon l'Andra – en zoom, selon l'ASNR)– Source : rapporteurs d'après dossier et site de l'ASNR

L'arbre des décisions réglementaires et des consultations du public reprend les obligations légales et réglementaires. Pour la complète information du public il serait intéressant d'expliciter les raisons qui ont conduit le législateur à arrêter ces différents points d'étape du projet.

Une phase pilote à expliciter

La phase industrielle pilote constitue une phase essentielle dans la conception et la réalisation du stockage Cigéo. Elle ne peut se comprendre que si les tests de stockage sont suffisamment longs

pour en tirer des conclusions opérationnelles pour le stockage futur et enrichir l'information du législateur qui aura à définir les conditions de poursuite du stockage.

La règlementation actuelle prévoit une séparation claire entre la phase pilote et la phase de fonctionnement (partie ASNR du schéma figure 18) :

- la phase industrielle pilote est engagée par le DAC qui comprend la phase de construction, une phase de tests avec des colis non radioactifs, puis, après autorisation de mise en service par l'ASNR limitée à la phase pilote, avec des colis de déchets radioactifs ;
- la phase de fonctionnement n'intervient qu'après autorisation donnée par le législateur ; cette décision sera prise sur la base du retour d'expérience de la phase industrielle pilote, de son interprétation et de ses conclusions quant aux prescriptions devant encadrer l'autorisation.

L'Andra propose dans son dossier que la fin de la phase industrielle pilote recouvre les premières années de la phase de fonctionnement et que l'autorisation du législateur ne porte que sur la poursuite du stockage de déchets radioactifs. Cette proposition se justifie selon l'Andra par l'intérêt de ne pas interrompre l'exploitation du site pendant plusieurs années entre la phase pilote et la phase de fonctionnement, ce qui pourrait avoir un impact sur la sûreté de l'exploitation (démobilisation des personnels, perte de compétence, vieillissement des matériels non utilisés, etc.). Néanmoins, la superposition de la phase pilote et de la phase de fonctionnement pourrait permettre de poursuivre le stockage sur une durée indéterminée au titre de la phase industrielle pilote.

L'Ae recommande

- ***de prendre en compte les enjeux liés à la transition dans de bonnes conditions entre la phase industrielle pilote et la phase de fonctionnement ;***
- ***de définir les conditions de cette transition entre la fin des tests et la décision du législateur.***

1.3 Procédures relatives au projet

L'Ae est sollicitée à l'issue du dialogue entre le maître d'ouvrage et l'ASNR dans le cadre de la demande d'autorisation de création. Le dossier soumis à l'Ae intègre les modifications apportées à l'issue des démarches antérieures, notamment la phase « DR0 », mais sans les modifications qui répondront à l'avis de l'ASNR.

Le projet Cigéo a été déclaré d'utilité publique par décret n° 2022-993 du 7 juillet 2022. Une demande d'autorisation environnementale valant notamment dérogation à l'interdiction d'atteinte aux individus et habitats d'espèces protégées a fait l'objet d'une enquête publique du 28 février au 15 avril 2025. Le dossier, dit « DR0 » a fait l'objet d'un avis de l'Ae le 27 juin 2024 et d'une déclaration de projet de l'Andra le 27 juin 2025. L'autorisation est intervenue par arrêté interpréfectoral n°2025-1557 daté du 11 juillet 2025 des préfets de la Meuse et de la Haute-Marne.

L'instruction de la demande d'autorisation de création s'est conclue par l'avis de l'ASNR n° 2025-AV-016 du 25 novembre 2025. Le dossier fera l'objet d'une enquête publique après actualisation pour prendre en compte l'avis de l'ASNR, de l'Ae et des autres consultations.

D'autres dossiers réglementaires (DR) seront déposés tout au long de la phase de construction et avant la mise en service, correspondant à plusieurs demandes d'autorisations environnementales.

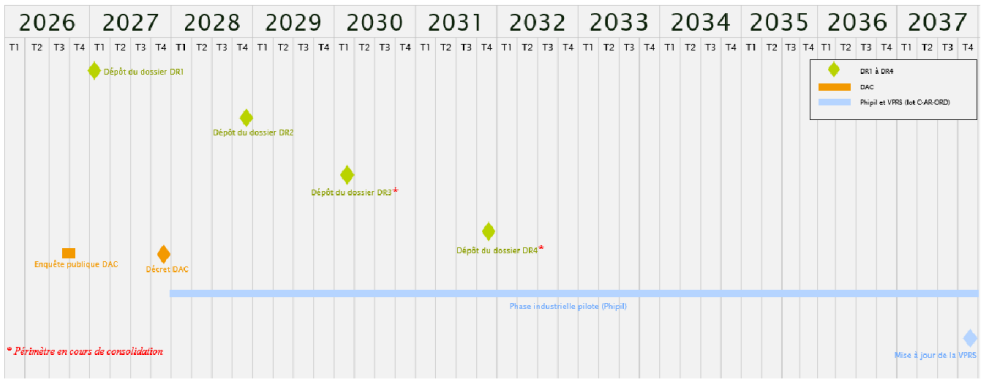


Figure 17 : Calendrier des dossiers réglementaires à venir – Source : réponse Andra au questionnement des rapporteurs

L'étude d'impact devra être jointe au dossier réglementaire de chacune des opérations. Ces dossiers seront l'occasion d'intégrer les réponses que l'Andra s'est engagée à produire dans les années à venir, ainsi que l'évolution de la connaissance de l'environnement, permettant ainsi de les présenter à une consultation du public. Une actualisation sera nécessaire au minimum dans le cadre des demandes d'autorisation réglementaires (cf. partie 2.2.4 – Biodiversité).

L'Ae recommande d'intégrer aux dossiers d'autorisation à venir, et au dossier finalisé de demande d'autorisation de création, les réponses que l'Andra s'est engagée à produire dans les années à venir au fur et à mesure de leur production.

Sur l'ensemble de la durée du projet, le calendrier présenté ne permet pas de distinguer les étapes clés de consultation du public, en particulier à compter du décret d'autorisation de création de l'INB. Il n'est pas précisé si les projets de décisions de l'ASNR qui portent pourtant sur des étapes clés de la vie de Cigéo (mise en service, revues décennales, fermeture…) seront soumises préalablement à enquêtes publiques et sur quelles bases documentaires (études d'impact, bilan des travaux, expertise de sûreté…). De manière générale, le calendrier est peu disert sur les consultations après la création de l'INB, pour un projet dont la durée dépassera le siècle. Les apports des échanges continus avec les parties prenantes, tout comme ceux des débats publics déjà organisés montrent qu'il convient de poursuivre ces démarches et d'en préciser le rythme. Selon l'Ae, les revues décennales pourraient être l'occasion de consultations du public et au moins un débat public devrait être organisé avant la mise en service ainsi qu'avant la fermeture. Ces revues devraient également alimenter les réflexions à venir dans le cadre des actualisations des PNGMDR et PPE. Enfin, les « revues de la mise en œuvre du principe de réversibilité », alimentées par l'ensemble des résultats d'expertises et recherche devraient être accompagnées de la mise à disposition du public des paramètres clés d'éclairage des décisions, à définir avant la mise en service.

L'Ae recommande de prévoir des consultations du public tout au long de la vie du projet Cigéo, d'en préciser le calendrier et d'en prévoir à chaque étape clé (mise en service, revue décennale, fermeture…).

L'Ae renouvelle également sa recommandation à l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection de prendre les dispositions qui permettent aux citoyens d'avoir accès aux résultats de ses expertises préalablement aux débats qui précèdent ses décisions.

1.4 Principaux enjeux environnementaux du projet relevés par l'Ae

Pour l'Ae, les principaux enjeux environnementaux du projet sont les suivants :

- la sécurité après fermeture du site de stockage pour une période très longue, de plusieurs dizaines de milliers d'années ;
- le risque de dissémination de la radioactivité dans l'environnement, notamment aquatique ;
- la préservation de la santé humaine du fait du risque de dispersion chronique ou accidentelle de substances radioactives dans l'air, les sols ou les eaux et de leur absorption par inhalation ou ingestion ;
- la protection des milieux naturels et de la biodiversité.

Cet avis présente une analyse de la prise en compte de l'environnement par le projet, en complément des nombreux expertises et avis fournis par d'autres organismes (ASNR et précédemment IRSN notamment). Au stade de la déclaration d'utilité publique, l'Ae avait abordé principalement les enjeux environnementaux de court et moyen termes et évoqué les questions à se poser par précaution pour le long terme. Le présent avis se concentre principalement sur l'analyse des risques et des impacts à long et très long termes et le niveau d'information du public à une étape où les travaux pourraient être engagés.

2. Analyse de l'étude d'impact

L'étude d'impact fait preuve de réelle pédagogie dans les actualisations, en particulier en signalant les modifications par rapport aux versions précédentes et en renvoyant aux volumes spécifiques pour les approfondissements. Les évolutions des conclusions et des affirmations sont en grande partie tracées. Les incertitudes sur certains résultats sont souvent précisées. Pour certains paramètres clés cependant, l'analyse de la variabilité ou des incertitudes gagnerait à être approfondie, comme c'est souligné par la suite.

Elle traduit un travail considérable, fruit d'études et de recherches engagées depuis 25 années et qui se poursuivront encore jusqu'à la mise en service de l'INB et tout au long de son fonctionnement, dans une logique d'amélioration continue des connaissances, des équipements, des procédés et des procédures, et en s'appuyant encore pendant de nombreuses années sur l'outil performant que constitue le laboratoire souterrain. Cet avis ne peut donner qu'une image succincte des résultats engrangés pour la conception du projet Cigéo et l'évaluation de ses incidences. Il cible ses remarques et ses recommandations sur certains paramètres et éléments clés que l'Ae a jugé importants pour la compréhension du projet ou sur lesquels elle estime n'avoir pas reçu de réponses satisfaisantes dans les précédents avis ou à l'occasion de cette instruction.

2.1 Analyse de la recherche de variantes et du choix du parti retenu

L'analyse de la recherche de solutions de substitution a déjà fait l'objet de nombreuses recommandations de l'Ae dans ses précédents avis, notamment sur le choix d'un stockage souterrain, d'un développement renforcé du territoire, des modalités d'approvisionnement (ITE et échanges entre la zone descenderie et la zone puits), l'implantation des installations, le choix d'une

descenderie, le choix d'une protection en surface à long terme... Ces recommandations restent d'actualité mais ne seront pas développées dans cet avis qui complète les précédents.

D'autres choix restent cependant à argumenter au regard de la sûreté des installations et de la santé des populations et de la protection de l'environnement, notamment :

Durée de l'entreposage en surface avant stockage en couches profondes des déchets HA.

L'option a été retenue d'un entreposage limité à quelques dizaines d'années des déchets les plus exothermiques (HA1 et HA2). Cet entreposage a pour objectif de réduire leur puissance thermique par décroissance radioactive.

Un entreposage plus long en surface, par exemple de 100 ou 150 ans, reste une option plébiscitée par certaines parties prenantes : elle permettrait de réduire plus encore la puissance thermique de ces colis, en particulier des déchets HA1, et de réduire ainsi considérablement les surfaces nécessaires au stockage souterrain, voire même de reclasser certains déchets HA en tant que MA-VL et donc avec des contraintes de stockage bien moins draconiennes. Étendu à certains déchets MA-VL, l'entreposage permettrait également d'en reclasser certains en tant que FA-VL dont la gestion offre d'autres options que le stockage à Cigéo. Le coût du projet pourrait en être réduit.

Un entreposage long en surface pourrait par ailleurs laisser ouvertes aux générations futures les options d'engagement ou de refus d'un stockage en couche profonde. La génération considérée, plus directement concernée que la nôtre, aurait été éclairée par un retour d'expérience d'une phase pilote prolongée et aurait toujours à sa disposition les fonds requis pour la mise en œuvre du stockage souterrain.

L'Ae recommande d'évaluer et de présenter le bilan coûts-avantages, incluant les incertitudes associées, d'un entreposage de plus longue durée des déchets radioactifs en surface et, le cas échéant, d'en étudier la faisabilité.

Dimensionnement de Cigéo.

Dans l'avis de 2024, l'Ae a recommandé « *d'estimer les conséquences quantitatives des différentes options de développement de l'énergie nucléaire sur le volume des déchets à stocker et sur les emprises des travaux souterrains subséquents* ». Le dossier présente une estimation des emprises du stockage nécessaire pour accueillir l'inventaire de référence et de réserve, notamment dans le cas d'un arrêt des filières plutonium et URE. Les conséquences en termes de nombre de colis (par limitation du terme thermique ou radiologique pour des produits fortement émetteurs), ainsi que d'espacement des alvéoles ne sont pas développées alors qu'il s'agit d'éléments structurants de

l'évaluation. La surface totale de ces emprises n'est pas fournie, ce qui ne permet pas de savoir si ces emprises peuvent s'inscrire dans la Zira.



Figure 18 : Schéma théorique de l'extension nécessaire à l'accueil de l'ensemble de l'inventaire de réserve en cas de non retraitement des combustibles usagers (CU) – Source : dossier

L'Ae recommande de préciser les conséquences en termes de nombre de colis, d'espacement des alvéoles et de surface totale des emprises souterraines, de l'accueil de l'inventaire de réserve (y compris le plutonium séparé et les combustibles usagés).

Il apparaît nécessaire de préciser ce point d'autant que les conséquences des choix à venir sur la politique énergétique nationale (au-delà des décisions déjà prises) pourraient accroître les besoins de stockage, alors que l'absence de fractures dans la couche de stockage n'a pas été expertisée hors de la Zira. Or, cette problématique peut se traduire par une interrogation sur les capacités maximales de stockage ultimes du site. Le dossier actuel semble considérer une capacité sans contrainte de limite comme débouché final de tous les déchets présents et à venir. L'Ae considère qu'il conviendrait d'inverser le regard, notamment pour évaluer les conditions et les coûts d'une extension des capacités de stockage, éléments d'évaluation à comparer aux conditions et coûts des filières de réemploi en vue d'une réduction des déchets dans le cadre de la révision du PNGMDR ou de la PPE.

L'Ae recommande d'évaluer les capacités limites de stockage en fonction de la typologie des déchets, au sein de la Zira et les conditions et conséquence de l'extension de cette zone.

2.2 Incidences du projet, mesures d'évitement, de réduction et de compensation

2.2.1 Caractérisation des déchets radioactifs

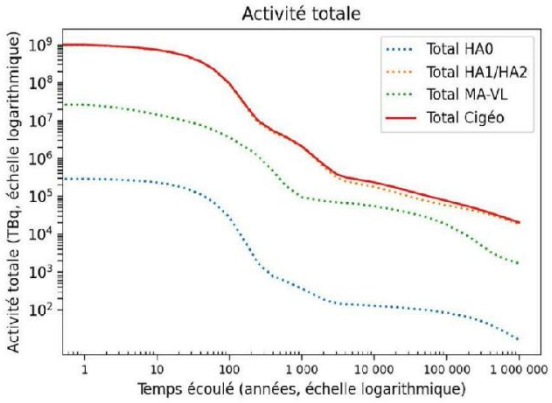
Décroissance de l'activité et décroissance thermique

Les colis de déchets radioactifs comprennent différents radionucléides, présents à la constitution du colis, ou générés en filiation par leur désintégration. Si l'activité d'un radionucléide seul décroît avec le temps selon une exponentielle, l'évolution de l'activité d'un colis constitué d'un mélange de

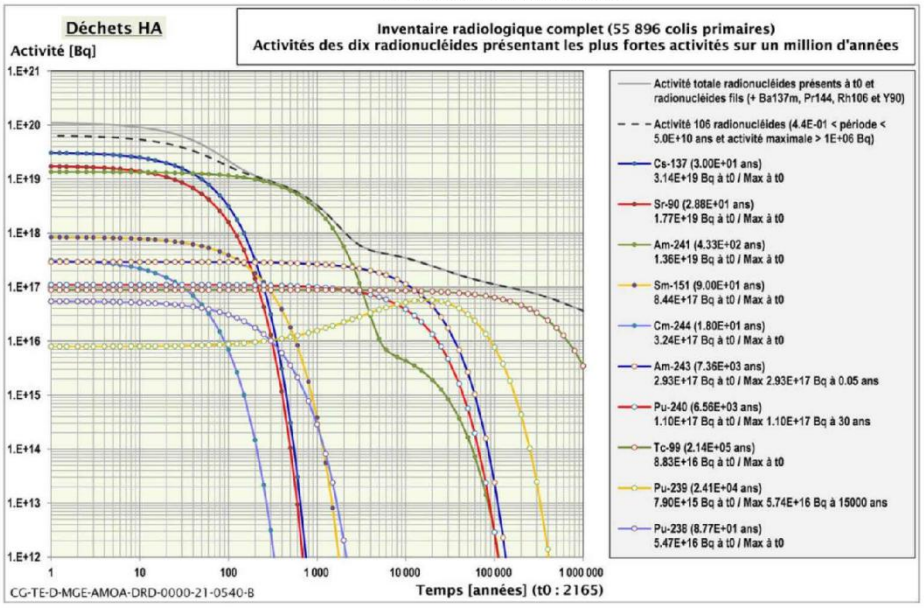
radionucléides suit des évolutions diverses, qui sont fonction de sa composition. L'activité des colis constitutifs de l'inventaire baisse avec le temps.

Figure 21 : Illustration de la décroissance dans le temps de la radioactivité des déchets – source : dossier :

- *à droite : radioactivité totale des déchets de l'inventaire de référence de l'INB Cigéo, radioactivité totale des colis de déchets HA0, HA1/HA2 et MA-VL (courbes en pointillés)*
- *ci-dessous : radioactivité totale des dix radionucléides présentant les plus fortes activités sur un million d'années, y compris celle des radionucléides fils*



CG-TE-D-MGE-AMOA-SR0-0000-21-0012-C



L'activité des colis de déchets dégage de la chaleur, variable selon les colis : plus forte pour les colis HA que les MA-VL, plus forte pour les colis HA1/HA2 que pour les HA0, décroissant plus rapidement pour les colis HA1 que les HA2.

La puissance thermique des colis est une caractéristique fondamentale pour le dimensionnement du stockage et, en particulier, pour l'espacement des alvéoles HA. L'ordre de grandeur de cette puissance thermique est ainsi de :

- 15 à 60 W pour les colis primaires MA-VL ;
- 50 W pour les colis du quartier pilote HA :
- 500 W pour les colis HA1/HA2 du quartier de stockage HA.

La conception des alvéoles et les caractéristiques thermiques de l'argilite doivent permettre l'évacuation de cette chaleur, sans remettre en cause les propriétés de l'alvéole et de la roche. Le dossier indique cependant qu'une température de 100°C ne doit pas être atteinte dans l'argilite.

Autres dangers associés aux colis de déchets

Les isotopes fissiles des colis de déchets peuvent modifier diverses caractéristiques favorables du Callovo-Oxfordien en cas d'accident de criticité[16]. Pour maîtriser les conséquences de la perturbation engendrée, l'Andra exclut l'occurrence d'accident de criticité, par des dispositions d'arrangement en alvéole : les masses maximales des colis de déchets issues des données producteurs sont comparées aux masses maximales admissibles permettant de maîtriser le risque de criticité.

Au-delà de leur radioactivité et de la chaleur qu'ils émettent, les colis de déchets constituent d'autres sources de dangers :

- les radionucléides peuvent être des éléments chimiques toxiques (plutonium, uranium...) et être associés dans les colis à des éléments chimiques non radioactifs, mais dangereux ;
- certains colis, comme les colis bitumés, contiennent des combustibles et peuvent constituer un point de départ d'incendies ;
- la production d'hydrogène par radiolyse de l'eau, associée à d'autres sources d'hydrogène (dont la corrosion de l'acier) peut générer une atmosphère explosive dans l'alvéole de stockage ;
- le contact entre colis différents ou leurs contenus peut générer des réactions, liées à des incompatibilités et être source de dangers.

Afin de maîtriser la mobilité des radionucléides et des substances toxiques chimiques dans les argilites, l'Andra prévoit à ce stade une séparation physique des colis de déchets MA-VL susceptibles de générer ces perturbations chimiques. Pour ce faire, les familles de colis ont été regroupées en sept catégories en considérant que l'ensemble des colis d'une même catégorie, quelle que soit leur famille d'appartenance, était co-stockable d'un point de vue physico-chimique. L'évolution de ces colis en condition de stockage a été étudiée, notamment pour les colis contenant des matières organiques. Plusieurs catégories de colis de déchets (bitumés, salins et organiques) font toujours l'objet d'études, du fait de leurs caractères spécifiques.

2.2.2 Sol, sous-sol, eaux souterraines et superficielles

Fonctions de sûreté associées au stockage souterrain et choix de conception

Pour l'ASNR et l'Andra, les fonctions de sûreté associées au stockage souterrain visent à isoler les déchets des phénomènes de surface et des actions humaines dites « banales », tout en limitant le transfert jusqu'à la biosphère des radionucléides et substances toxiques contenus dans les déchets. Après fermeture et à long terme, la sûreté du stockage en couche géologique repose sur des dispositifs passifs sans besoin d'intervention des générations futures.

[16] Un accident de criticité (ou *excursion nucléaire*) est un accident nucléaire provoqué par une réaction nucléaire en chaîne involontaire et incontrôlée dans un matériau fissile comme l'uranium ou le plutonium. Il s'accompagne d'une émission de rayonnements neutrons pouvant être intense.

Il est ainsi attendu de la couche de stockage qu'elle présente certaines qualités, entre autres, une perméabilité très faible pour limiter les échanges hydrauliques et une conductivité thermique suffisante pour évacuer la chaleur produite par les déchets radioactifs et éviter d'atteindre des températures trop élevées pour ne pas perdre les caractéristiques favorables de l'argilite. Plus généralement, le site dans son ensemble ne doit pas présenter de ressources particulières (hydrauliques, minérales ou énergétiques) qui pourraient motiver des interventions humaines futures.

Les connaissances sur la géologie et l'hydrogéologie du secteur doivent être suffisantes pour permettre notamment :

- le dimensionnement thermique, hydraulique et mécanique des quartiers de stockage (THM) ;
- une estimation du besoin d'étanchéification des ouvrages traversant les couches perméables (descenderies, puits) et des besoins d'exhaure.

Plus de 30 années d'études ont été consacrées au développement des connaissances sur la géologie et l'hydrogéologie du secteur. La Commission nationale d'évaluation[17] (CNE2) considère dans son rapport d'évaluation n°14 de juin 2020 que « *l'Andra a établi le socle de connaissances nécessaire pour conduire le projet Cigéo, que la démonstration de la qualité du site a été faite et que les options technologiques de stockage ont été consolidées. La maturité scientifique du projet Cigéo permet à présent d'envisager sur des bases solidement étayées son développement technologique en vue de l'autorisation de création* ». Elle considère également dans son rapport d'évaluation n°16 de juin 2022 que « *l'Andra dispose actuellement des éléments scientifiques et techniques suffisants pour asseoir la démonstration de sûreté en vue de la demande d'autorisation de création (DAC). En outre, le projet Cigéo prévoyant un développement progressif, les futures avancées technologiques pourront y être intégrées. Toutes les conditions sont donc réunies pour un dépôt sans délai de la DAC* ».

Énormément de données ont effectivement été recueillies et interprétées. Elles ne sont pas toujours accessibles dans le dossier, ou elles sont livrées au lecteur sans hiérarchisation au regard des besoins de conception du projet, d'évaluation de ses incidences ou de sa sûreté. Le dossier est souvent peu disert sur la variabilité spatiale des paramètres mesurés et sur la prise en compte de cette variabilité dans ses conclusions. Le dossier ne présente jamais les valeurs seuils des paramètres (perméabilités ou transmissivités, conductivité thermique...) à partir desquelles la conception, l'impact ou la sûreté du site pourraient être mis en cause. Ces valeurs pourraient être utilement mises en perspective avec les résultats observés et leur variabilité. Malgré plus de vingt années de mesures, certains résultats, interprétations ou manques interrogent toujours[18].

L'Ae recommande de mettre en avant les paramètres géologiques et hydrogéologiques les plus discriminants au regard de la conception du stockage Cigéo, d'indiquer pour chacun d'eux les valeurs limites à ne pas dépasser sous peine d'une remise en cause de la conception, du caractère significatif ou non de l'impact des paramètres sur la sûreté et de les mettre en perspective avec les valeurs observées, en prenant en compte toute leur variabilité.

[17] La Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et déchets radioactifs, dite CNE2, a été instituée par la loi du 28 juin 2006 qui a fixé les dispositions relatives à la gestion durable des matières et déchets radioactifs en France. Elle succède à la première Commission nationale d'évaluation, CNE1, créée par la loi du 31 décembre 1991.

[18] À titre d'exemple : l'absence de modèles satisfaisants et calés sur des bilans hydrologiques du comportement des nappes des calcaires du Barrois et de l'Oxfordien calcaire.

Ressources et usages du sous-sol

Ressources hydrauliques, minérales et énergétiques

Le secteur n'est pas concerné par des ressources minières ou hydrauliques particulières, si ce n'est la présence de nappes exploitées et dont l'intérêt est discuté dans les paragraphes suivants. Le taux de matière organique des argilites du Callovo-Oxfordien est compris entre 0,5 et 2 %, insuffisant selon l'Andra pour présenter des quantités importantes d'hydrocarbures, y compris pour des exploitations non conventionnelles selon le dossier.

Le dossier devrait examiner cependant d'autres possibilités d'utilisation du sous-sol : géothermie basse ou moyenne températures, stockage de gaz, gisement d'hydrogène natif[19], etc.

Risque sismique

L'est du Bassin parisien est à l'écart des zones sismiques. L'absence de ressources géothermiques jusqu'à 2 000 m de profondeur et de gisement d'hydrocarbures limite le risque de sismicité d'origine anthropique, Il conviendrait cependant d'analyser également les autres risques de sismicité d'origine anthropique : exploitation de géothermie à très grande profondeur, comme cela a pu être le cas en Alsace[20] (jusqu'à 5 000 m) qui a engendré des phénomènes sismiques notables ; remise en exploitation de l'ancien gisement de gaz naturel de Trois-Fontaine à 70 km de Bure (récupération du gaz naturel dans un gisement dépleté[21]) ; existence possible de gisements de gaz de roche, dont l'exploitation est aujourd'hui interdite et probablement peu rentable avec les technologies actuelles, mais pour lesquels l'éventualité d'une mise en exploitation ne peut être écartée au cours des 100 à 150 prochaines années... Les incidences de telles activités sont cependant à considérer à l'aune des phénomènes naturels majorants pris en considération : séisme de Clairvaux (Luxembourg) révisé (Ms 5,2 et profondeur 12 km) et, post fermeture, la rupture totale de la faille de Poissons (Ms 6,5 et profondeur 13 km). En revanche, un phénomène similaire à celui de novembre 2019, sur la commune du Teil près de Montélimar (magnitude 5 à faible profondeur – entre 1 km et 3,5 km – par l'activation d'une faille jusqu'alors considérée comme inactive) est écarté par le dossier, les conditions sismotectoniques ne se retrouvant pas en partie orientale du Bassin parisien.

Conclusion

L'Ae recommande d'approfondir l'analyse des possibilités d'usage et d'exploitation de ressources du sous-sol à long terme qui pourraient avoir un impact sur le stockage Cigéo, y compris à longue distance (séisme en premier lieu).

Géologie et hydrogéologie

Les formations géologiques plus particulièrement concernées par le stockage souterrain Cigéo présentent un pendage régulier de 1° à 1,5° descendant en direction du centre du Bassin parisien. La couche du Callovo-Oxfordien où sera implanté le stockage est encadrée par deux couches

[19] Une demande de permis exclusif de recherches portant sur cette ressource est en cours d'instruction à quelques dizaines de kilomètres au nord-est de Bure.

[20] Un séisme de magnitude 3,9 a touché la région de Strasbourg le 26 juin 2021, généré par des essais de capacité géothermique à 5 000 m de profondeur.

[21] Gisement de gaz épuisé selon les technologies d'une période donnée. Le gisement peut parfois être remis en exploitation avec de nouvelles technologies. Il peut être également reconverti en stockage de gaz.

calcaires aquifères (Oxfordien carbonaté sus-jacent et calcaire du Dogger sous-jacent). Les couches à l'affleurement sur le secteur sont le Kimméridgien marneux dans les vallées et les calcaires du Barrois sur les plateaux).

Calcaires du Barrois

Les calcaires du Barrois constituent la couche affleurante du plateau de Bure. S'appuyant sur les couches imperméables (marnes et argiles du Kimmeridgien), ils renferment la nappe la plus proche de la surface qui alimente la majorité des sources et des captages d'eau potable du secteur. Les calcaires sont karstifiés et recouverts d'un sol peu épais. La nappe des calcaires du Barrois est donc peu protégée de pollutions pouvant provenir des installations de surface de Cigéo. Sa connaissance est ainsi fondamentale. Elle présente une transmissivité élevée, ce qui oblige d'ailleurs l'Andra à une étanchéification des ouvrages la traversant (descenderies, puits).

Un modèle très complexe est en cours d'élaboration, prenant en compte les différents niveaux aquifères des calcaires du Barrois et leurs différentes voies d'alimentation. Il n'est cependant pas encore abouti[22]. À ce jour, et malgré de nombreux travaux depuis 1994, l'étude d'impact ne peut donc pas s'appuyer sur un modèle fiable, même moins performant que celui envisagé, ni sur une piézométrie correcte de la nappe. Les aires d'alimentation de captages ne sont pas délimitées. La carte de l'aire d'influence a été construite sur la base des données de traçages hydrogéologiques (figure). Ces traçages n'informent que sur les directions générales d'écoulement et les connexions indirectes possibles par l'intermédiaire du réseau hydrographique. Ils indiquent une direction générale vers le nord-nord-ouest avec des exutoires identifiés au nord de Bar-Le-Duc pour les plus éloignés. Cette méthode ne permet pas d'évaluer la sensibilité des captages à une pollution de Cigéo ou des autres composantes du projet, de proposer un suivi satisfaisant de la nappe, voire en cas de pollution, de proposer un traitement adapté. Les incertitudes sur les écoulements restent élevées : Cigéo les encadre de manière conservative[23].

[22] Cette information issue de l'étude d'impact semble cependant contredite par certaines pièces du dossier, dont la 20, qui affirme que les « *travaux de caractérisation des Calcaires du Barrois ont permis de construire à l'échelle du secteur de Meuse/Haute-Marne un modèle de représentation géologique et hydraulique du système aquifère karstique* », sans pour autant que les résultats en termes de piézométrie, de zone d'influence, d'aire d'alimentation des captage… soient fournis.

[23] (Sécurité nucléaire) Relatif à une méthode de calcul ou approche basée sur des suppositions surestimant les conséquences possibles nuisant à la sûreté nucléaire ou à la radioprotection.
Source : https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/conservatif

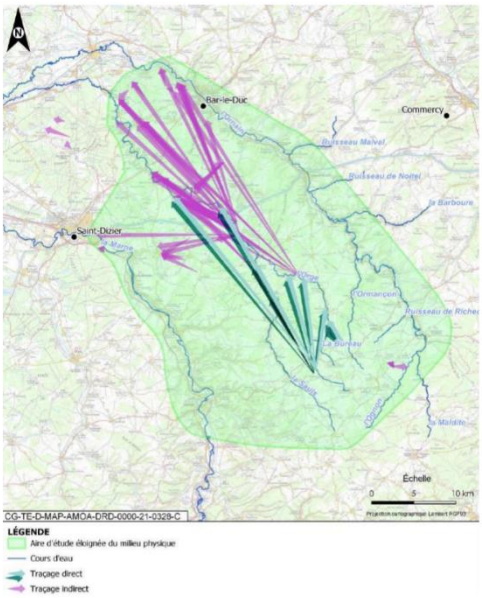


Figure 22 : Traçages hydrogéologiques et directions globales des écoulements dans les Calcaires du Barrois depuis la zone descenderie – Source : dossier

Calcaires oxfordiens et du Dogger

L'Oxfordien calcaire et les calcaires du Dogger sont les formations respectivement sus-jacentes et sous-jacentes de la couche d'argilite du Callovo-Oxfordien. Elles sont toutes les deux aquifères.

La nappe de l'Oxfordien calcaire, qui s'étend sur une grande surface en Lorraine, a été classée par le BRGM comme une ressource à protéger, dite « d'ultime recours »[24], stratégique pour l'alimentation en eau potable, sans qu'il soit précisé quels secteurs de la nappe devaient être considérés comme tels.

Il est important de connaître la perméabilité et la transmissivité de cette couche pour prévenir le risque de drainage et de rabattement[25] de la nappe et le besoin de pompage des eaux d'exhaure (la nappe est traversée par les deux descenderies sur environ 2 km et par les puits). Une faible perméabilité peut également constituer une seconde barrière naturelle à la migration des radionucléides ou des substances toxiques vers le milieu superficiel ou des captages.

Plus de six méthodes, parfois totalement différentes les unes des autres, ont été employées pour évaluer les paramètres hydrauliques de l'Oxfordien calcaire. Selon l'Andra, elles donnent un ensemble de valeurs cohérentes représentatives des transmissivités de l'Oxfordien (entre 10^{-9} et 2.10^{-5} m^2/s) en dehors de la zone de fracturation diffuse. Les plus fortes transmissivités ont été obtenues dans les forages de la zone de fracturation diffuse (10^{-2} m^2/s). La variabilité observée est considérable pour un nombre pourtant limité de mesures, de 1 à 20 000 sans prise en compte de la zone de fracturation, mais habituelle pour une nappe située dans une couche calcaire. Le dossier ne précise pas comment a été analysée la distribution des valeurs observées. La perméabilité retenue

[24] Rapport BRGM R38142, octobre 1994 : « Ressources en eau souterraines protégées dites d'ultimes recours – phase 1 – inventaire national ».

[25] Rabattement d'autant plus important qu'il s'agit d'une nappe captive, ce qui peut avoir des effets à longue distance sur des captages éloignés en cas de perméabilité élevée.

semble bien inférieure aux perméabilités « en grand » rencontrées habituellement en couches calcaires. La présence de zones de flexures[26], si elle ne se traduit pas par des fractures, risque également de permettre l'élargissement de diaclases[27] et conduire à des perméabilités apparentes proches de celles des zones fracturées.

Là encore, après plus de 30 années d'études, aucune modélisation n'est disponible, si ce n'est un modèle ciblant le secteur à partir d'un modèle général du Bassin parisien[28]... Les incertitudes entachant encore la perméabilité et la transmissivité de l'Oxfordien calcaire pourraient modifier considérablement les conclusions sur les besoins d'étanchéification des descenderies et puits, sur les volumes d'exhaure nécessaires et l'incidence de ce drainage sur la piézométrie à longue distance de la nappe, utilisée largement pour l'alimentation en eau potable. Elles pourraient compromettre également l'affirmation que l'Oxfordien calcaire pourrait constituer une seconde barrière naturelle au transfert des radionucléides et des substances toxiques vers la surface ou les captages.

Les perméabilités annoncées pour le Dogger posent les mêmes interrogations que celles de l'Oxfordien calcaire. Les incertitudes entachant les perméabilités indiquées questionnent tout autant sur le rôle du Dogger en tant que seconde barrière naturelle au transfert d'éléments toxiques et radiotoxiques vers la surface ou des captages.

La couche des argilites callovo-oxfordiennes (Cox)

C'est la couche d'argilites callovo-oxfordiennes qui accueillera le stockage souterrain de déchets radioactifs.

[26] En géologie, une flexure est un mode de plissement dans lequel les couches se raccordent sans chevauchement ni rupture.
[27] En géologie, une diaclase est une fissure de la roche sans déplacement relatif des deux blocs (différence avec la faille).
[28] Les caractéristiques du modèle hydrogéologique sont présentées dans le chapitre 5 du volume 7 de l'étude d'impact. La cartographie du rabattement induit dans l'Oxfordien est présentée dans le chapitre 5 du volume 4.

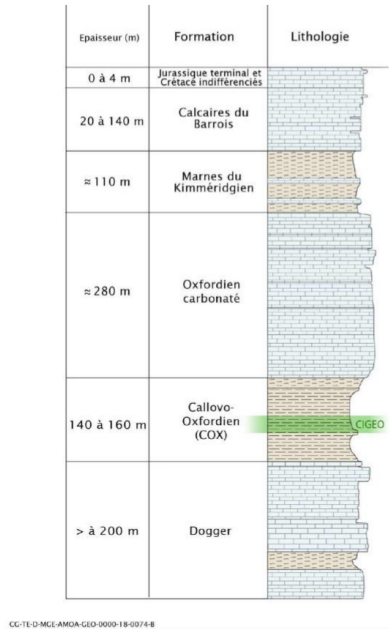


Figure 23 : (ci-contre) Coupe géologiques du site d'implantation de Cigéo Source : dossier DUP



Figure 24 : (ci-dessus) Échantillon d'argilite du Callovo-Oxfordien - Source : dossier

Dans la pratique, il s'agit d'une argile ayant subi une diagénèse[29], habituellement appelée en anglais « shale » ou schiste non métamorphique, que l'Andra et Wikipédia définissent comme « *une roche sédimentaire à dominance argileuse, indurée à grain fins ayant acquis une forte compacité lors de son enfouissement* »[30]. Bien que saturée en eau, elle est d'apparence sèche, car sa porosité est trois à quatre fois inférieure à celle d'une argile non compactée. Par son caractère cassant et son faible taux d'humidité à saturation, il aurait été préférable de ne pas utiliser le terme d'argile ou de formation argileuse dans le dossier pour éviter toute ambiguïté, même si l'Ae reconnaît la difficulté de revenir sur cette appellation utilisée depuis l'origine du projet sans remise en cause.

L'argilite a fait l'objet de multiples caractérisations depuis plus de 25 ans, avec la détermination de nombreux paramètres qui ne peuvent être tous évoqués dans cet avis, à différentes échelles spatiales (sur échantillon et *in situ*), mais rarement à l'échelle de la couche (centaines de mètres et plus). Toutes les mesures ont montré une grande homogénéité de ces caractéristiques selon le dossier.

Les perméabilités verticales obtenues sont très faibles, de l'ordre de 10^{-13} m/s [31]. Cette valeur est bien inférieure à celle observée couramment sur des argiles, même très pures. Le dossier conclut à

[29] La diagenèse désigne l'ensemble des processus physico-chimiques et biochimiques par lesquels les dépôts de sédiments meubles sont transformés en roches sédimentaires. Contrairement au métamorphisme, les températures associées à ces processus restent faibles, toujours inférieures à 300°C.

[30] L'Andra complète cette qualification ainsi : « *Cette forte compacité est principalement liée à des phénomènes de précipitation des carbonates qui ont lieu précocement après l'enfouissement. Dans le cas des argilites du Callovo-Oxfordien, la température et la pression atteintes au cours de son histoire géologique ont été insuffisantes pour atteindre le domaine du métamorphisme. Le terme argilite est le plus adapté scientifiquement pour décrire une structure feuilletée aisément débitable en lames correspondant à la couche du Callovo-Oxfordien* ».

[31] La perméabilité est fonction des propriétés du matériau, mais également de la viscosité de l'eau qui décroît avec la température. Ainsi, un même matériau voit sa perméabilité et donc, les vitesses de circulation de l'eau, multipliée par 3 entre 26°C, la température actuelle, et 100°C, valeur qui ne doit pas être atteinte dans le stockage souterrain. L'Andra indique prendre en compte cette variation de la perméabilité en fonction de la température dans ses simulations.

de très faibles transferts de l'eau, des gaz et des solutés, dont les radionucléides et les substances chimiques toxiques.

Le dégagement thermique des colis de déchets HA (et dans une moindre mesure de certains colis de déchets MA-VL) entraîne une élévation transitoire de température dans les ouvrages souterrains et dans la formation du Callovo-Oxfordien. Différentes méthodes ont été mises en œuvre pour préciser la conductivité thermique. Selon la profondeur dans la couche d'argilite, les conductivités thermiques varient de 1,1 à 2,3 W/m.K.

De façon générale, le dossier de demande d'autorisation de création est peu disert sur la caractérisation des propriétés thermiques de l'argilite et les simulations de la gestion du flux de chaleur, en comparaison des dossiers précédents et alors même que l'information est en partie disponible dans d'autres documents. Les méthodes utilisées pour la détermination des paramètres thermiques (capacité thermique volumique, conductivité thermique) et leur variabilité, comme les incertitudes sur ces valeurs ou leur évolution possible dans le temps avec la perte d'humidité des argilites du fait de la température, sont peu documentées dans le dossier. Le dossier indique que « *les niveaux d'incertitudes connues à ce jour ont une faible influence sur les températures (de quelques °C) dans la formation du Callovo-Oxfordien* »[32]. La sensibilité des modèles de transfert de chaleur à un paramètre comme la conductivité thermique est pourtant importante, puisque l'incertitude sur les augmentations de température simulées est identique à celle sur la conductivité thermique.

Le dossier indique que les simulations montrent que les températures ne dépassent pas :

- 80°C en paroi d'alvéoles (certaines parties du dossier évoquent 90°C[33]), 10 à 15 ans après la mise en place des colis ;
- 40 à 50°C dans le Cox en champ lointain, à l'entraxe[34] de deux alvéoles HA (les températures maximales y sont atteintes en quelques dizaines ou centaines d'années selon qu'il s'agit de déchets HA0, HA1 ou HA2) ;
- 35 et 40°C, respectivement au toit et au mur du COX après un millier d'années environ.

La température initiale étant de 26°C et les simulations indiquant une valeur maximale de température de 80°C ou de 90°C, une incertitude de seulement 40 % (ou respectivement 20 %) sur la conductivité thermique ne permettrait pas de garantir que la limite de 100°C n'est pas atteinte au contact du Cox et de la paroi des alvéoles.

Une cicatrisation incomplète est également observée lors du retour d'eau dans les zones fracturées ou fissurées. Les dénominations d'« autocolmatage » ou de « cicatrisation hydraulique » adoptées désormais par l'Andra, semblent préférables à la dénomination précédente d'« autocicatrisation ». En effet, selon les termes mêmes de l'Andra, cette propriété permet à la roche de retrouver un niveau de perméabilité faible dans les zones fissurées après creusement, proche de celui de la roche intacte,

[32] Le « Recueil des fiches bilan scientifique et technique » indique également que « les incertitudes sur la conductivité thermique de la formation sont de l'ordre de 0,2 à 0,3 W/m.K (écart type) ». Pour la valeur habituellement retenue d'un intervalle de confiance compris entre la moyenne et deux écarts types, l'incertitude sur la conductivité thermique serait de 0,4 à 0,6 W/m.K, soit de l'ordre de 30 % de la valeur moyenne. La détermination du domaine de confiance de la moyenne serait plus pertinente.

[33] Ainsi, la page 87 du volume 8 de la pièce 7 évoque 90°C, température offrant une marge de sécurité de 10° pour couvrir la variabilité et les incertitudes sur la conductivité thermique alors que le « Recueil des fiches bilan scientifique et technique » (hors dossier d'enquête publique), évoque 80°C page 375.

[34] Distance séparant les axes de deux alvéoles de déchets HA.

mais non ses propriétés mécaniques initiales[35]. Selon l'Andra, le faible pourcentage de matière organique n'est pas susceptible d'engendrer un risque d'explosion lors des travaux. Leur potentiel d'oxydoréduction est voisin de -200 mV, caractère réducteur qui favoriserait des états peu solubles pour une majorité de radionucléides en jeu.

Conclusion

Le dossier conclut sur d'excellentes caractéristiques des argilites et du site dans son ensemble au regard des attentes pour un stockage souterrain. Le fonctionnement des nappes est par ailleurs simulé par modèles sur une période d'un million d'années, simulation qui conclut à l'absence de modifications notables, sans précisions sur les hypothèses d'alimentation naturelle des nappes à cette échéance, ni sur la capacité de ces modèles à représenter les piézométries dans un million d'année alors que la nappe phréatique actuelle n'est pas encore modélisée.

S'il est vraisemblable que beaucoup d'interrogations de l'Ae sur le sous-sol et ses caractéristiques ont fait l'objet d'études qui n'ont pas pu être reprises dans un dossier déjà très volumineux, le dossier gagnerait à expliciter comment sont traitées la variabilité et les incertitudes, tant sur les paramètres hydrauliques que thermiques du sous-sol, et comment sont définies les marges ou coefficients de sécurité au regard des limites physiques acceptables. Les justifications de ces limites devraient également être explicitées.

L'Ae recommande d'expliciter dans le dossier soumis à enquête publique (ou de renvoyer aux documents existants donnant ces informations) comment :

- ***sont prises en compte la variabilité et les incertitudes associées aux paramètres hydrauliques et thermiques du sous-sol,***
- ***sont définies les marges ou coefficients de sécurité sur ces paramètres et les limites de températures acceptables pour les argilites.***

Elle recommande par ailleurs au plus tôt de :

- ***produire des modèles exploitables du fonctionnement hydraulique des calcaires du Barrois et de l'Oxfordien, avec calage des paramètres hydrauliques ;***
- ***délimiter la zone d'influence des installations de surface de Cigéo et les aires d'alimentation des captages susceptibles d'être atteints par une pollution issue des installations du projet d'ensemble Cigéo.***

Besoins et ressources en eau

Eaux de surface

Le centre de stockage Cigéo est établi en tête du bassin versant de la Marne et de la Seine, qui couvre plus de dix millions d'habitants. L'aire d'étude éloignée s'insère dans les trois bassins versants principaux de la Marne, de la Saulx et ses affluents l'Orge et la Bureau, et de l'Ornain, incluant plusieurs affluents dont l'Ormançon. La position en tête de bassin explique les faibles débits

[35] Les éléments de ce paragraphe sont issus des réponses écrites aux questions des rapporteurs

observés, avec des cours d'eau temporaires[36] : l'Orge, la Bureau et l'Ormançon à proximité du centre de stockage Cigéo.

Besoins en eau

Les besoins en eau potable du projet Cigeo sont estimés à 500 m³/j pendant les phases d'aménagements préalables et de construction initiale et à 200 m³/j pendant la phase de fonctionnement.

Les trois sources d'alimentation en eau potable sont les syndicats :

- du haut Ornain : forages du Muleau, alimenté par la nappe alluviale de l'Ornain et nappe de l'Oxfordien, et de Dainville à Gondrecourt-le-Château prélevant dans les alluvions de l'Ornain ;
- d'Échenay : source de Massonfosse et forage d'Échenay alimenté par les nappes des calcaires blancs du Kimmeridgien ;
- de Thonnance-Suzannecourt : sources de Claire Fontaine et du Mont alimentées par les calcaires du Barrois.

Le recyclage des eaux pour les besoins industriels (centrale à béton, tunneliers...) permettra de réduire les besoins en phase travaux aux seuls besoins sanitaires, soit de l'ordre d'un peu plus de 105 m³/j.

Ces besoins sont bien inférieurs à la ressource actuelle, après déduction de la satisfaction des besoins des collectivités (1 500 m³ environ) [37].

Prélèvements dans l'Oxfordien calcaire

Les volumes drainés dans l'Oxfordien calcaire par les deux fois deux kilomètres des deux descenderies et les puits sont jugés négligeables par l'Andra, du fait des perméabilités annoncées comme très faibles et ne justifiant qu'une étanchéité partielle. L'Ae considère qu'une incertitude subsiste sur la perméabilité moyenne qui sera rencontrée lors des creusements des descenderies ou des puits et pourrait justifier de prévoir une étanchéité complète, au moins dans les secteurs les plus perméables. En cas de perméabilité supérieure à celle prévue, outre des besoins d'exhaure accrus, le rabattement de la nappe pourrait s'étendre à des captages actuels d'eau potable.

Ces eaux de drainage, non polluées, pourraient être valorisées directement ou après un traitement limité. Or, l'Andra prévoit de les collecter après mélange avec les autres eaux « de fond », polluées (eaux sanitaires, eaux d'extinction...) qui nécessitent un traitement élaboré. Il pourrait être intéressant d'étudier une gestion séparée des eaux de drainage en vue d'une valorisation (utilisation directe pour les besoins non domestiques, substitution au prélèvement sur le réseau d'eau potable après un traitement limité, recharge de nappe...).

Imperméabilisation, eaux pluviales, usées, de ruissellement et issues des verses

Ces aspects de l'évaluation environnementale ont déjà fait l'objet de développements importants dans les précédents avis de l'Ae, avec des recommandations qui ont fait l'objet de réponses

[36] Ces cours d'eau présentent des pertes dans les couches calcaires karstifiées.

[37] La mobilisation de cette ressource nécessitera cependant le raccordement de Cigéo au réseau d'autres syndicats. Les travaux prévus sont importants : 66 km de réseau, 72 ouvrages dont la construction d'un réservoir en tour de 1 200 m³.

satisfaisantes de l'Andra, en particulier sur l'éventualité de pollutions des eaux de verse par l'arsenic.

L'Ae s'interroge cependant toujours sur la possibilité d'infiltrer certaines eaux excédentaires (eaux pluviales, d'exhaure, de verses ou usées traitées) en lieu et place d'un rejet dans le milieu superficiel et ainsi de recharger la nappe des calcaires du Barrois. Cette recharge présenterait le double intérêt de compenser les prélèvements supplémentaires, même minimes, sur cette nappe et la nappe des calcaires de l'Oxfordien, et également de soutenir les débits d'étiage en tête de bassin de la Marne.

Les mémoires en réponse aux recommandations passées de l'Ae ne développent guère cette possibilité de recharge. Seule est envisagée une étude sur la possibilité d'infiltrer une partie des eaux de pluie. L'éventualité d'infiltrer les eaux d'exhaure propres, non mélangées avec les eaux usées du fond n'est pas retenue, ni les eaux usées traitées par un dispositif d'épuration très élaboré. L'Andra met en avant l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux INB qui prévoit que « *Les rejets dans le sol et les eaux souterraines sont interdits, à l'exception des infiltrations éventuelles d'eaux pluviales* (...) *et des réinjections, dans leur nappe d'origine, d'eaux pompées lors de certains travaux de génie civil* » et l'absence de possibilité d'y déroger dans la réglementation INB. Le caractère unique de l'INB Cigéo pourrait cependant justifier d'une autorisation et d'un encadrement spécifique de l'infiltration des eaux par le DAC, dès lors que des solutions intéressantes pour l'environnement pourraient être dégagées qui n'engagent pas la sûreté du site.

L'Ae recommande d'étudier techniquement et réglementairement la faisabilité de l'infiltration des eaux excédentaires au regard des besoins du site et, le cas échéant, de prévoir sa mise en œuvre.

2.2.3 Milieu humain et risques anthropiques

Dans son avis de 2024, l'Ae a soulevé la question du choix du développement de l'occupation du site de surface en matière d'incidence pour les populations, alors que la réflexion sur la mémoire du site n'est pas aboutie à ce jour. L'Ae recommandait d'élargir le débat sur les options de mémorisation et de chercher à minimiser le risque d'exposition des populations à des évènements indésirables.

Il est ressorti des échanges entre les rapporteurs et le maître d'ouvrage qu'il conviendrait de préciser dans le dossier les espaces potentiels d'accueil d'un développement économique, notamment au regard des enjeux de sûreté, y compris dans une perspective de long terme (cf. partie 3.2). En effet, un tel développement, s'il est considéré comme une contrepartie de Cigéo, devrait être esquissé dans le cadre de l'évaluation environnementale du projet. À tout le moins, l'étude d'impact et son volet sûreté doivent considérer ce développement en termes d'exposition des populations actuelle et future aux risques engendrés par le projet.

L'Ae recommande d'esquisser les espaces envisagés pour l'accueil de développement économique et d'évaluer les incidences en matière d'exposition des futures populations concernées aux risques engendrés par le projet.

2.2.4 Risques naturels et climat

Le climat actuel régional est de type continental, marqué par l'influence de passages de perturbations arrivant de l'océan par le sud-ouest. L'examen des évènements extrêmes, qui identifiait la tempête de décembre 1999, a été complété d'un état des lieux du risque de tornade avec une cartographie de ces évènements réalisés par l'observatoire Keraunos[38]. Il identifie notamment une tornade d'intensité EF4[39] dans le Grand Est à 90 km[40] du site et dix d'intensité EF3 dont une à 70 km du site.

Le dossier ne mentionne pas le risque de feux de forêt ou de feux de moissons, phénomènes nouveaux dont la fréquence s'accroît avec le changement climatique et qui commencent à survenir dans le Grand Est. Ces risques représentent un enjeu pour le projet, d'autant que les puits d'aération sont localisés au sein d'un espace boisé entouré d'espaces agricoles.

L'Ae recommande d'analyser les risques de feux de forêt et de feux de moisson, leur évolution avec le changement climatique et d'en déduire les incidences sur le projet.

Concernant l'évolution des températures liée au changement climatique, le dossier mentionne les projections des scénarios RCP[41] 2,6 et 8,5 (ce dernier étant le plus probable au vu de la dynamique actuelle) qui indiquent une augmentation pouvant atteindre 5,6 °C à 2100[42]. Selon le dossier, les systèmes de ventilation et de refroidissement peuvent fonctionner à 35 °C en continu, à 42 °C pendant une période de sept jours et à 47 °C pendant 12 heures consécutives. Par ailleurs, l'incidence de fortes températures sur les rails est identifiée, avec des mesures de protection (arrêt du fonctionnement) si nécessaire. Les capacités de refroidissement seraient à mettre en comparaison avec des situations de canicule telles que projetées à l'horizon 2100, mais également à l'horizon 2200, correspondant à la période prévue de fermeture du site. La question doit cependant être considérée au regard des conséquences potentielles sur la capacité d'exploitation du site et sa sûreté : à partir de quelles conditions la sûreté du stockage est-elle compromise, ou l'activité d'exploitation doit-elle être suspendue pour la sécurité des personnes ?

L'Ae recommande de compléter l'analyse des incidences du changement climatique en matière de températures sur les systèmes de ventilation du projet jusqu'à sa fermeture, en particulier lors des périodes de canicule au regard des enjeux de sécurité et de sûreté.

[38] En France, l'observatoire Keraunos réalise un recensement historique des tornades qui permet de dresser un portrait climatologique qualitatif des tornades en France. https://www.keraunos.org/

[39] L'échelle Fujita, introduite en 1971, classe l'intensité des tornades en fonction des dégâts causés de F0 (légers dégâts) à F5 (dégâts incroyables). Une nouvelle échelle de Fujita « améliorée » a été mise en place en 2007. Cette échelle utilise également six catégories, de EF0 à EF5, avec des intervalles de vent différents. Elle repose sur 28 indicateurs (matériaux, végétation…) dont les dommages peuvent être reliés à des vitesses de vent.

[40] Tornade observée le 3 août 2008 à Haumont

[41] Le RCP ou « *Représentative Concentration Pathways* » ou « Profils représentatifs d'évolution de concentration » désigne les profils d'évolution des concentrations des gaz à effet de serre retenus par les experts du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec).

[42] L'Ae rappelle que, dans le cadre du 3e Plan national d'adaptation au changement climatique, la France s'est dotée d'une trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au CC (TRACC) qui couvre la période allant jusqu'à 2100.

2.2.5 Autres compartiments environnementaux

Qualité de l'air

Dans son avis de 2024, l'Ae a recommandé d'examiner les incidences sur la santé humaine des émissions de $PM_{2,5}$ liées au projet. Les résultats de la modélisation des émissions induites aux différentes phases du projet ont été actualisés en juillet 2025. Lors de la phase de construction initiale, les normes de qualité sont respectées sauf pour les $PM_{2,5}$ au niveau de l'hôtel de Bindeuil (10,59 µg/m³ avec une pollution de fond de 7,33 µg/m³) et dans le boisement à proximité des puits, et de manière un peu plus étendue sur les surfaces agricoles environnantes pour le benzène, représentatif des composés organiques volatils.

L'Ae souligne que les normes de qualité de l'air ne sont pas une garantie d'innocuité pour la santé humaine. Les seuils de référence de l'Organisation mondiale de la santé représentent des objectifs atteindre afin de réduire les incidences sur la santé des composés visés. Par ailleurs, les seuils de qualité sont en cours de révision au niveau européen, ce qui devrait amener la France à abaisser ses propres valeurs limites. Une valeur toxicologique de référence a été adopté par l'Anses[43] pour les $PM_{2,5}$, il convient de la mettre à profit en lien avec la modélisation de la dispersion de ces particules pour calculer l'excès de risque sanitaire pour les populations actuelles et à venir concernées.

L'Ae recommande de calculer l'excès de risque sanitaire lié aux particules de diamètre inférieur à 2,5 µm.

État radiologique

L'état radiologique a fait l'objet de compléments d'information sur les radionucléides. Une actualisation de l'état initial radiologique « *pour chaque grand milieu environnemental* » est prévue dans le dossier de demande d'autorisation de mise en service. Il conviendrait toutefois que l'évolution générale de l'état radiologique issu du suivi du réseau national de mesure de l'ASNR, soit reportée dans le dossier, le dernier bilan disponible correspondant à la période 2021-2023[44].

L'Ae recommande de compléter l'état radiologique d'un suivi du bilan de l'état radiologique dans l'environnement réalisé par l'ASNR.

Biodiversité

L'évolution du dossier dans ce domaine depuis la version « DR0 » n'appelle pas de remarque de l'Ae qui attire toutefois l'attention du maître d'ouvrage sur l'article R. 411-21-4 du code de l'environnement, introduit par le décret n° 2025-804 du 11 août 2025 portant diverses dispositions de simplification du droit de l'environnement. « *Les inventaires réalisés dans le cadre de la description de l'état initial et de l'évaluation des incidences notables directes et indirectes d'un projet sur la biodiversité doivent avoir été achevés ou actualisés moins de cinq ans avant la date de dépôt du dossier pour lequel ils sont requis* ». Leur actualisation est à prévoir au vu du calendrier des procédures réglementaires nécessaires aux différentes opérations (cf. partie 1.3).

[43] L'excès de risque unitaire (ERU) à court terme est de $1{,}65.10^{-7}(\mu g/m^3)^{-1}$ pour des concentrations moyennes journalières [PM 2,5] inférieures ou égales à 10 µg/m³ et de $7{,}69.10^{-9}(\mu g/m^3)^{-1} + 1{,}56.10^{-6}$ pour des concentrations moyennes journalières [PM 2,5] supérieures à 10 µg/m³. L'ERU à long terme pour un risque de décès toutes causes non accidentelles est de $1{,}28.10^{-2}(\mu g/m^3)^{-1}$. Source Anses 2025.

[44] IRSN_Bilan-etat-radiologique-environnement-francais-2021-2023_BD.pdf

Émissions de GES

Le dossier présente une méthodologie de calcul des émissions de gaz à effet de serre détaillée, fondée notamment sur les facteurs d'émissions déterminés par l'Ademe. Elle prend en compte la phase de construction (matériaux mis en œuvre, usage des engins de chantier...) et la phase de fonctionnement (déplacements domicile-travail, consommation d'énergie ...). À ce stade, aucun chiffrage des paramètres caractéristiques du projet n'est présenté, mais l'engagement est pris de viser une émission inférieure à 10 millions de tonnes équivalent CO_2 (10 $MtCO_2eq$), mesure de réduction comprises (environ 10 %). Cela représente, pour le seul inventaire de référence, entre 4 et 9 % des facteurs d'émissions retenus par l'Ademe pour le nucléaire.

2.3 Évaluation des incidences Natura 2000

Dans son avis de 2024, l'Ae a recommandé de « *compléter l'évaluation des incidences Natura 2000 par l'analyse des incidences cumulées sur les sites des carrières du Perthois* », au regard notamment de l'absence de délimitation des galeries souterraines concernées dans la cartographie des sites et des liaisons fonctionnelles avec les autres habitats des chauves-souris et en particulier de la Znieff de type I « *Gîtes à chiroptères des carrières du Perthois* ».

Le dossier indique, qu'après analyse, les forages ne devraient pas rencontrer de galeries du site Natura 2000, ni celles identifiées dans le cadre de l'extension prévue du site. Pour autant, il n'est pas démontré que les effets cumulés des sondages seraient sans effet notable sur la population de chauves-souris concernée.

L'Ae renouvelle sa recommandation de compléter l'évaluation des incidences Natura 2000 par l'analyse des incidences cumulées sur les espèces ayant justifié la désignation des sites des carrières du Perthois.

2.4 Suivi du projet, de ses incidences, des mesures et de leurs effets

Cette thématique n'appelle pas de remarque de l'Ae sur la présente version du dossier.

2.5 Résumé non technique

Le résumé non technique s'inscrit dans la logique d'ensemble du dossier : pédagogique et synthétique, malgré une taille importante, proportionnée avec le dossier lui-même. Il met en avant les points essentiels du projet et de ses incidences.

3. Sûreté du site en exploitation et après fermeture

Les articles L. 593-9, R. 593-16 et R. 593-19 du code de l'environnement prévoient que le dossier soumis à enquête publique contient une étude de maîtrise des risques et qu'en parallèle, une version préliminaire du rapport de sûreté peut être consultée pendant toute la durée de l'enquête. Certains éléments pouvant porter atteinte à la sûreté ou à la sécurité du projet peuvent être exclus des documents consultables.

Le dossier mis à disposition du public sur le site internet de l'Andra comporte l'étude de maîtrise des risques prévue ainsi qu'une version préliminaire du rapport de sûreté (VPRS), expurgée des informations sensibles dont la divulgation pourrait nuire à la sécurité du projet, l'Ae disposant d'une version non expurgée.

3.1 Sûreté du site en exploitation

Les principaux risques que présente le projet Cigéo pendant sa période d'exploitation sont liés à la présence et à la manipulation de déchets radioactifs dans des installations de surface et dans le contexte particulier d'une installation souterraine exploitée en co-activité avec des travaux conventionnels de creusement.

3.1.1 Analyse des retours d'expériences d'installations analogues

L'étude de maîtrise des risques fait un point particulier sur le retour d'expérience tiré de trois accidents survenus dans des stockages souterrains de déchets, deux accidents graves survenus pendant les travaux de creusement du laboratoire, l'accident de Fukushima-Daiichi et, de manière plus générique, des éléments de retour d'expérience concernant les opérations de manutention, les protections radiologiques et la maîtrise du risque incendie.

Concernant les accidents survenus dans des stockages souterrains, deux concernent d'anciennes mines réutilisées pour le stockage de déchets : Asse en Allemagne et Stocamine en France. Ces deux accidents ont entraîné la fermeture des sites avec le maintien, à ce jour, des déchets dans les installations. Le dernier, qui est le plus représentatif de la future installation Cigéo, est celui du WIPP aux États-Unis. Il a entraîné deux années d'arrêt de l'exploitation.

Les éléments présentés dans l'étude de maîtrise des risques, montrent que l'analyse des accidents est riche d'enseignements concernant les colis de déchets, la conception initiale du site et de ses composants ouvragés, la surveillance, la gestion de la co-activité, l'organisation des moyens de lutte et d'intervention en cas d'accident, ainsi que les facteurs organisationnels et humains.

La VPRS devrait développer les éléments d'analyse de ces accidents. Le volume 1 annonce que « *Tous les volumes de la présente version préliminaire du rapport de sûreté s'appuient sur le retour d'expérience et l'état de l'art. Ils les rappellent et les développent autant que de besoin* ».

Le principe de prise en compte du retour d'expérience est régulièrement exprimé dans la VPRS, en le centrant principalement sur le retour d'expérience lié aux travaux de recherche, de construction, à la surveillance ou l'exploitation du site durant sa phase pilote ou d'autres sites. Dans son précédent avis, l'Ae avait recommandé « *de ne pas limiter les travaux sur l'accidentologie aux seuls stockages souterrains et au laboratoire souterrain de l'Andra mais de les élargir à l'accidentologie minière internationale* ». Dans son mémoire en réponse, l'Andra a indiqué avoir signé des accords de partenariat avec de grands maîtres d'ouvrage d'infrastructures souterraines, et s'appuyer sur différents comités dont les membres sont choisis pour leurs compétences et expériences. L'Andra indique que « *le retour d'expérience notamment minier à l'étranger, incluant l'aspect sécurité, peut ainsi être considéré lors des instructions du comité industriel et/ou surtout du comité technique souterrain. Ce dernier est en effet composé d'experts, français et internationaux, indépendants de l'Agence, en particulier des domaines du génie minier* ». Ce traitement implicite du sujet ne permet

pas au lecteur de l'étude de maîtrise des risques de disposer de la mise en perspective des enseignements tirés de ces accidents et de leur prise en compte pour le projet Cigéo.

Le sujet de la prise en compte du retour d'expérience, au sens de l'accidentologie, n'est développé que dans le chapitre relatif à la gestion du vieillissement, dans le volume 9 de la VPRS, où il permet une mise en perspective intéressante des enjeux liés à ce sujet. Dans le reste de la VPRS, seuls les grands principes de prise en compte sont exposés, ce qui ne permet pas de se forger une opinion sur l'exhaustivité et la profondeur de l'analyse du retour d'expérience.

L'Ae recommande de compléter le dossier par :

- ***un panel plus large des accidents analysés au titre du retour d'expérience, en présentant notamment des accidents ayant des analogies au titre de la co-activité chantier et exploitation et des travaux miniers ;***
- ***une mise en perspective plus complète des enjeux identifiés et de leur prise en compte dans le projet Cigéo.***

3.1.2 Méthodes retenues pour l'analyse des risques

La démonstration de sûreté en exploitation réalisée par l'Andra repose sur différentes étapes :

- l'analyse de risques, c'est-à-dire l'étude de l'ensemble des phénomènes physiques d'origines interne et externe susceptibles d'affecter l'installation, sujet traité au chapitre 3.3 du présent avis ;
- l'analyse par situations de fonctionnement, c'est-à-dire l'étude des évènements susceptibles d'affecter l'installation, qui sont classés selon leur vraisemblance ;
- l'évaluation des effets radiologiques et non radiologiques des différentes situations de fonctionnement, afin de vérifier le respect des objectifs de protection et la capacité à gérer les situations accidentelles et post-accidentelles, le tout dans l'objectif de juger de l'acceptabilité de ces situations, sujet traité au chapitre 3.4 du présent avis.

Elle s'appuie sur la méthode déterministe qui est internationalement reconnue dans le domaine du nucléaire et conforme au guide de sûreté de l'ASN (aujourd'hui ASNR), et applique le principe de défense en profondeur qui s'organise en quatre niveaux :

- la prévention, visant à éviter l'apparition des défaillances ;
- la surveillance, afin de détecter les dysfonctionnements ;
- la maîtrise des accidents n'ayant pu être évités, afin de ramener l'installation à un état sûr puis de l'y maintenir ;
- la gestion des accidents n'ayant pu être maîtrisés afin de limiter les conséquences sur les personnes et l'environnement.

L'Andra précise dans son dossier que « *des analyses probabilistes complémentaires peuvent être réalisées notamment sur l'évaluation d'agressions externes, conformément aux règles fondamentales de sûreté de l'ASN (chute d'aéronef, environnement industriel et voies de communication).* »

À ce stade, certains scénarios sont présentés comme peu vraisemblables ou exclus sur la base d'une argumentation qui reste à consolider. Pour ces scénarios, qui ne sont pas exclusivement attachés à des agressions externes, l'Ae rappelle sa recommandation de se fonder « *sur une double approche déterministe et probabiliste, à mettre en perspective de la durée de vie des installations, et d'en tirer les conclusions quant à la classification des situations de fonctionnement de faibles probabilités* ».

Concernant le cas particulier du stockage des colis bitumés, le risque d'emballement des réactions exothermiques est toujours à l'étude et soulève des questionnements techniquement complexes dont les marges d'incertitude sont difficiles à apprécier. Pour ces colis, des études sont parallèlement menées sous le pilotage du CEA en vue de disposer d'un traitement préalable visant la neutralisation de ces colis avant stockage. Le suivi de ces études est réalisé dans le cadre du PNGMDR, et la durée estimée du programme de R&D associé est estimée à plus de 15 ans.

Compte tenu du retour d'expérience d'installations analogues et des enjeux portés par le projet Cigéo, en termes de sûreté intrinsèque du stockage en exploitation et à long terme comme sur la place de Cigéo comme solution de gestion des déchets HA et MA-VL dans le PNGMDR, il apparaît préférable de retenir en solution de référence le scénario d'un traitement préalable visant la neutralisation de ces colis avant stockage. Sous réserve d'une implication volontariste dans le programme de recherche nécessaire, le développement de cette solution est temporellement compatible avec le projet Cigéo.

L'Ae recommande :

- ***à l'Andra de retenir comme scénario de référence le traitement préalable des colis de déchets bitumés visant leur inertage avant stockage ;***
- ***au CEA de prioriser les travaux relatifs au programme de R&D associé à la mise en œuvre de ce scénario et d'en rendre compte régulièrement dans le cadre du PNGMDR.***

3.1.3 Inventaire des risques que présente l'installation, d'origine tant interne qu'externe

Le dossier de l'Andra identifie :

- 18 catégories de risques « internes nucléaires », qui sont les risques liés à la présence d'éléments radioactifs au sein des colis de déchets, dont les principaux sont l'incendie, l'explosion, les risques liés aux pertes des utilités et à la manutention ;
- neuf catégories d'agressions dites « externes », c'est à dire les risques non nucléaires, naturels ou anthropiques, survenant à l'extérieur des équipements et installations, dont les principaux sont liés à l'aléa sismique et aux phénomènes météorologiques extrêmes. Ces sujets sont détaillés aux chapitres 2.2.3 et 2.2.4 du présent avis ;
- trois autres risques, liés aux opérations de construction, à la co-activité et aux facteurs organisationnels et humains. Ils sont représentatifs des spécificités du projet Cigéo. Les principes exposés dans le dossier exposent clairement les enjeux associés à ces risques. Leur déclinaison opérationnelle devra être précisée au plus tôt pour s'assurer de leur bonne prise en compte dans le développement de l'installation, notamment pour ce qui concerne les phases de bascule entre secteurs de travaux et d'exploitation (sujet des raccordements d'utilités, dont les boucles de puissance) et les interfaces hommes / machines lors des travaux de maintenance préventive ou curative.

3.1.4 Analyse des conséquences des accidents éventuels

Sur la base des scénarios retenus, l'analyse des conséquences radiologiques et chimiques en situations incidentelles et accidentelles est réalisée en tenant compte de l'état des connaissances acquises et des règles applicables. Elle conclut, à des émissions respectant les objectifs de protection pour les populations proches et les travailleurs.

Concernant l'impact des toxiques chimiques, l'IRSN souligne dans le rapport du GP2 – sûreté en exploitation N° 2024-00623, que « *Sur un plan méthodologique, pour l'évaluation des conséquences relatives aux toxiques chimiques, des compléments doivent être apportés s'agissant de la prise en compte des rejets liquides*. »

3.1.5 Présentation des dispositions envisagées pour la maîtrise des risques, ainsi que des dispositifs et des moyens de secours

Le dossier s'attache principalement à exposer les mesures prises pour éviter la survenue des évènements, ce qui est conforme à l'esprit de la défense en profondeur.

Un plan d'urgence interne (PUI) est prévu. Il définit l'organisation et les moyens mis en place par la direction du site en cas de *« situation accidentelle considérée comme grave »*. Son dimensionnement est fondé sur l'analyse de situations appelées « *situations du domaine d'extension du dimensionnement* », qui peuvent survenir à la suite de défaillances multiples de dispositions de sûreté ou d'aléas naturels extrêmes d'une intensité nettement supérieure à celle retenue dans le dimensionnement.

Concernant la gestion accidentelle et post-accidentelle, un chapitre est dédié à ce sujet. Il présente de manière qualitative les moyens matériels disponibles dans l'installation lors d'une situation accidentelle dans les différentes zones de l'installation et les modalités de gestion de scénarios choisis pour être représentatifs des opérations réalisées dans l'installation. Des données qualitatives et quantitatives sont également fournies concernant les durées d'intervention et l'estimation dosimétrique prévisionnelle de la gestion post-accidentelle de deux scénarios considérés comme pénalisants concernant l'impact aux travailleurs.

Le sujet des eaux de lutte contre un incendie n'est pas traité de manière quantitative dans l'étude de maîtrise des risques. Le VPRS apporte quelques précisions concernant les modalités d'approvisionnement et leur gestion post-accidentelle. Il laisse également entendre que des émulseurs pourraient être utilisés, sans donner de précision sur leur nature. Les additifs utilisés dans les systèmes d'extinction d'incendie peuvent contenir des substances per- ou polyfluoroalkylées (PFAS), présentant un caractère toxique et écotoxique et une pérennité élevée en cas de contamination de l'environnement à prendre en considération avant de décider de leur emploi et des modalités de traitement des eaux d'extinction résultant de leur utilisation.

L'Ae recommande de vérifier l'absence de PFAS dans les additifs d'extinction d'incendie envisagés sur le centre de stockage ou bien de s'assurer qu'aucun transfert dans l'environnement de ces substances n'interviendra quel que soit le scénario accidentel.

3.1.6 Résumé non technique de l'étude de maîtrise des risques

Le résumé non technique est présent à la fin de l'étude de maîtrise des risques. Il reprend, en 50 pages, une synthèse vulgarisée du contenu de l'étude de maîtrise des risques. Afin de faciliter l'identification de ce document par le lecteur, il serait bénéfique que ce résumé non technique soit identifiable et accessible plus directement, par exemple dans un fascicule séparé, au même titre que le résumé non technique de l'étude d'impact.

3.2 Sûreté du stockage souterrain après fermeture du site

La protection de la santé des personnes et de l'environnement constitue l'objectif fondamental de sûreté assigné au stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Elle doit être assurée vis-à-vis des risques liés à la dissémination de radionucléides et de substances toxiques chimiques et ce, pendant une période multiséculaire. Cet impératif s'inscrit cependant dans un contexte totalement exceptionnel pour la démarche de sûreté de Cigéo après fermeture :

- un projet Cigéo quasi unique au monde, sans véritable retour d'expérience à ce jour en France comme à l'international et dont la démarche de sûreté doit s'appuyer sur une démarche continue d'itération sûreté/conception/ connaissances ;
- un temps très long, plusieurs centaines de milliers d'années, au-delà des possibilités de représentation humaine de ce que pourraient devenir le milieu physique, la vie et l'humanité.

Ce contexte exceptionnel doit inscrire tous les acteurs de ce dossier dans une logique d'humilité, ce que l'Andra applique en inscrivant sa démarche de sûreté dans une logique d'amélioration permanente, s'appuyant sur l'acquisition de connaissances, la poursuite de l'expérimentation dans le laboratoire souterrain et durant la phase industrielle pilote, et les revues de mise en œuvre de la réversiblité. La mobilisation d'expertises nationales et internationales autour de cet enjeu de sûreté du stockage Cigéo à très long terme est également appelée à se poursuivre.

L'Andra conclut aujourd'hui à un niveau de sûreté satisfaisant, tout en s'engageant à apporter des compléments à la démonstration de sûreté. Malgré cette conclusion positive, la consistance et le niveau de précision du dossier, l'ASNR considère que le dossier ne lui permet pas aujourd'hui de disposer de « la raisonnable assurance » que la démonstration de sûreté sera confirmée pour la poursuite du stockage au-delà de la phase industrielle pilote.

Dans ce cadre, les remarques et recommandations de l'Ae se limitent aux principes de la démarche spécifique de sûreté après fermeture et à quelques questionnements, en partie déjà mis en avant dans son analyse de l'étude d'impact.

3.2.1 Présentation générale de la démarche spécifique de sûreté après fermeture

L'application du principe de défense en profondeur est adaptée à la spécificité du stockage en formation géologique profonde. La protection des intérêts doit être assurée de façon passive vis-à-vis des risques présentés par les substances radioactives ou toxiques chimiques contenues dans les déchets radioactifs après le passage en phase de surveillance. Selon la réglementation, « *cette protection ne doit pas nécessiter d'intervention au-delà d'une période de surveillance limitée, déterminée en fonction des déchets radioactifs stockés et du type de stockage* », c'est-à-dire sans

intervention humaine au-delà de la période de surveillance identifiée au préalable. La transposition du principe de défense en profondeur se traduit par :

- l'attribution à la roche-hôte et aux ouvrages du système de stockage de fonctions de sûreté complémentaires. Le site et la roche hôte sont choisis pour leurs caractéristiques favorables ; la conception des composants ouvragés (conteneurs, scellements...) vise à la préservation des caractéristiques de la roche hôte ;
- la mise en place d'une surveillance dès la construction du stockage, puis pendant son exploitation au titre du stockage de colis nucléaires pour le suivi des composants naturels et ouvragés assurant des fonctions de sûreté après fermeture ;
- des scénarios définis et évalués pour vérifier la performance et tester la robustesse du système de stockage dans son ensemble et l'apport de chaque composant : un scénario d'évolution normale (toutes les fonctions de sûreté sont réalisées) et des scénarios de dysfonctionnement (défaillance de composants, situations hypothétiques postulées[45]).

La définition des scénarios s'appuie sur l'analyse des risques et des incertitudes.

L'application de cette démarche se réfère aux textes nationaux et internationaux relatifs à la sûreté. Elle s'appuie sur le guide de sûreté n°1 de l'ASN qui émet des recommandations pour l'évaluation de la sûreté après fermeture, en particulier la vérification que les fonctions de sûreté associées au système de stockage sont assurées et que les objectifs de protection sont respectés.

Ainsi, l'Andra évalue les risques sanitaires associés aux radionucléides et substances toxiques chimiques qui migreraient jusqu'aux exutoires où de l'eau pourrait être contaminée. Elle vérifie les performances des composants du système de stockage participant aux fonctions de sûreté pris isolément (colis, composants ouvragés), puis dans leur ensemble et sa robustesse en cas de dysfonctionnement d'un ou plusieurs de ces composants.

La vérification de ces objectifs est effectuée sur la base des scénarios « après fermeture » établis. L'évaluation quantitative des scénarios se fonde sur des modèles de relâchement des radionucléides et des substances chimiques toxiques par les colis, leur migration dans les ouvrages souterrains, dans la couche du Cox, puis jusqu'aux exutoires. Les résultats sont soumis à des tests de sensibilité. Une évaluation de l'impact sanitaire sur l'homme est réalisée.

La démarche de sûreté après fermeture s'appuie également sur les pratiques internationales. L'Andra indique ainsi participer à des échanges internationaux depuis les années 1990, ce qui lui permet des comparaisons entre praticiens, l'amélioration de sa démarche d'évaluation de sûreté après fermeture et la vérification de sa cohérence avec les bonnes pratiques et référentiels

[45] Parmi ces scénarios sont envisagés :
- un scénario d'évolution normale (SEN), décliné en situation « de référence » et « enveloppe »,ce qui permet de gérer les incertitudes résiduelles de nature scientifique ou technologique ;
- des scénarios d'évolution altérée (SEA) représentatifs d'événements ou processus jugés peu vraisemblables : perte d'une fonction de sûreté ou forte dégradation des performances des composants les assurant ;
- des scénarios qualifiés de « What If » représentatifs d'événements et de processus très peu vraisemblables sur la base des connaissances acquises : scénarios de dysfonctionnement des composants ayant pour origine des événements postulés pour perdre une fonction de sûreté. Ces scénarios permettent de maximiser certains dysfonctionnements pour évaluer la robustesse du système de stockage dans son ensemble ;
- des scénarios d'intrusion humaine involontaire (SIHI), scénarios spécifiques, ce qui est cohérent avec les pratiques internationales. Seules sont prises en compte celles liées à des forages profonds par méconnaissance de l'existence du stockage (le guide de sûreté n°1 de l'ASN fixe la date d'oubli de l'existence du stockage à 500 ans).

internationaux. En parallèle, les autorités de sûreté des différents pays nucléarisés ainsi que leurs supports techniques participent également à de tels échanges afin de conforter l'instruction et les règles applicables aux projets en cours de développement.

En cohérence avec les objectifs et principes définis, l'Andra a structuré sa démarche d'évaluation de sûreté après fermeture sur une approche itérative et multidisciplinaire entre la conception (incluant la définition des fonctions de sûreté et exigences associées), les connaissances scientifiques et technologiques, et les études et évaluations de sûreté.

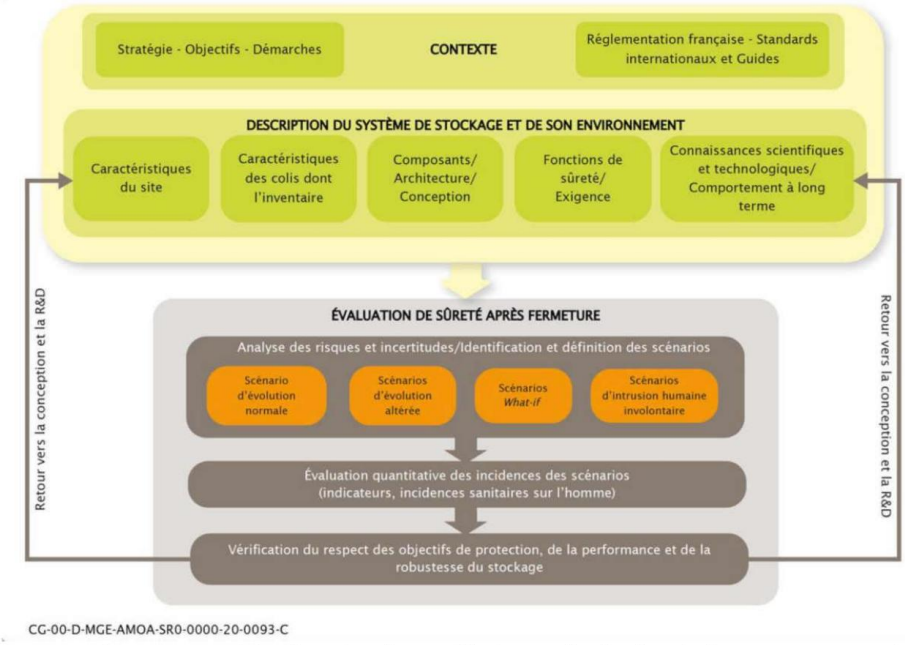


Figure 25 : Principes de la démarche itérative d'évaluation de sûreté après fermeture - Source : dossier

Conclusion

L'Ae n'a pas de remarques spécifiques sur cette démarche d'ensemble, rigoureuse et contrôlée par l'ASNR. Elle attire l'attention cependant sur la difficulté que représente le faible retour d'expérience disponible à l'échelle nationale mais également internationale sur la sûreté après fermeture d'un stockage de déchets radioactifs en couche profonde. Si la démarche de l'Andra pour Cigéo est conforme aux guides et réglementations nationales ou internationales, ces normes et recommandations ne se fondent en grande partie que sur un nombre limité de sites existants ou en projet, dont Cigéo constitue l'un des trois plus aboutis. Se limiter à confronter la conformité de la démarche de sûreté de Cigéo aux seuls guides, réglementations et expériences étrangères du secteur nucléaire peut dès lors interroger. La cohérence entre la démarche de sûreté mise en œuvre par l'Andra et d'autres démarches issues du secteur non nucléaire a vraisemblablement été assurée par les différents comités d'experts mobilisés, mais gagnerait à être présentée dans le dossier.

L'Ae recommande de confronter la démarche de sûreté à long terme de Cigéo après fermeture avec les méthodes développées dans d'autres domaines techniques et réglementaires traitant de risques à long terme (secteurs miniers, industriels, aérospatial).

3.2.2 Points spécifiques de la démarche de sûreté d'un stockage souterrain à long terme

Risques et incertitudes examinées et analyse des risques associés

Risques

Les risques étudiés sont les « Risques internes », liés à des perturbations d'origine interne (thermique, hydraulique, gaz, mécanique, chimique, bactériologique et radiologique) et leurs interactions, analysés en fonction de leur impact potentiel sur les composants contribuant aux fonctions de sûreté (Cox et ouvrages). Ils comprennent également les « Risques externes » liés aux évolutions des événements climatiques et géologiques, y compris d'origine anthropique, à l'aléa sismique et aux intrusions humaines involontaires. Les risques externes sont analysés au regard de leurs effets sur les fonctions de sûreté et sur l'environnement.

Incertitudes

Il s'agit pour l'essentiel d'incertitudes résiduelles :

- sur la connaissance du site d'implantation (dont le Cox et ses formations encaissantes) et des colis primaires, incluant l'inventaire radiologique et leur comportement dans le temps en présence d'eau ;
- sur les caractéristiques des composants ouvragés, y compris technologiques ;
- sur l'évolution à long terme du milieu (géologie, hydrologie, biosphère...).

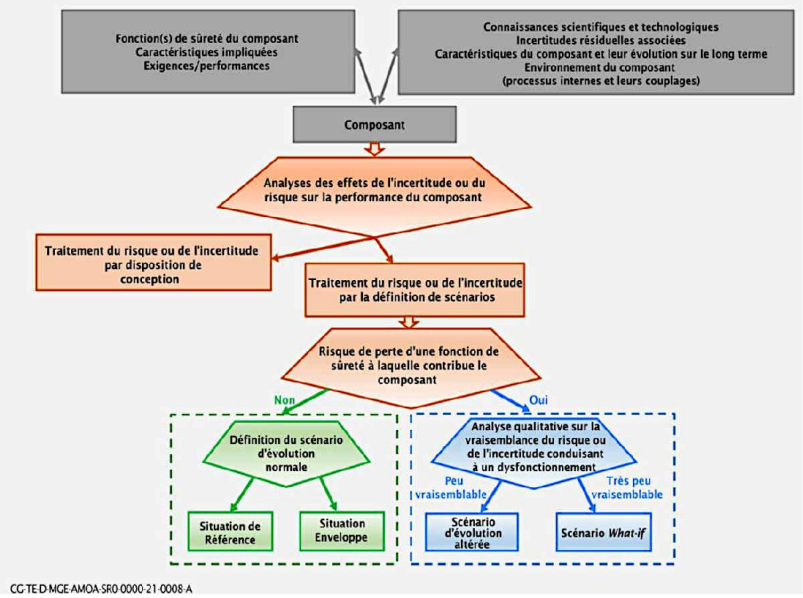


Figure 26 : Apport de l'analyse des risques et incertitudes à la définition des scénarios après fermeture – Source : dossier

Vérification des incidences sur l'homme et l'environnement

Définition des « cibles » hypothétiques pour les évaluations quantitatives

La définition et la description des biosphères « cibles » nécessaires aux évaluations quantitatives se fondent sur la méthodologie internationale « Biomass », développée dans le cadre de travaux internationaux avec l'AIEA, et en cohérence avec le guide de sûreté n°1 de l'ASN (2008).

Leur définition devant s'inscrire dans un temps très long, dépassant largement le domaine des prévisions, elle inclut :

- une liste large de biosphères types plausibles (tempérées, froides, chaudes) ;
- le choix d'hypothèses de groupes de références (humains) et la localisation des points de prélèvements en eau pour leur alimentation.

Vérification des incidences sur l'homme et l'environnement

L'analyse des transferts de polluants toxiques et radioéléments vers l'homme et l'environnement et l'évaluation de leurs impacts suit une méthode habituelle. Ainsi, concernant la radiotoxicité pour l'homme, elle prend en compte ses effets sur les groupes de référence par différentes voies : inhalation, ingestion ou exposition externe. Concernant la radiotoxicité pour la faune et la flore, elle comprend une analyse à trois niveaux : comparaison avec les quotients de risques donnés par la méthode Erica et, si le risque ne peut être écarté, comparaison entre le débit de dose d'exposition avec le débit de dose sans effet et enfin, si le risque ne peut toujours pas être écarté, expertise spécifique. L'ASNR a relevé dans son avis que des compléments doivent être apportés par l'Andra sur la bonne prise en compte des toxiques chimiques dans l'étude d'impact.

3.2.3 Conclusion sur la sûreté après fermeture du site

L'Ae n'a pu analyser toutes les spécificités de la démarche présentée, qui suit scrupuleusement les guides existant à ce jour développés sur la base des meilleurs standards internationaux pour s'adapter à un objet quasi-unique dans le monde et pour lequel les incertitudes portent en particulier sur des évolutions sur des périodes plus que millénaires. L'ensemble des incertitudes et des risques est traité successivement dans la démonstration de sûreté, de façon très analytique et selon une approche certainement proche de l'exhaustivité.

L'ASNR a émis son avis le 25 novembre 2025 et il convient de s'y reporter. L'avis insiste sur l'excellent niveau atteint par la démarche de sûreté à ce jour qui devrait donc « raisonnablement » aboutir à une démonstration de sûreté à l'autorisation de mise en service, limitée à la seule Phipil, tout en identifiant des compléments attendus non négligeables tant quantitativement qu'au regard des enjeux qu'ils sous-tendent. Si des modifications substantielles du projet devaient découler de l'instruction de ces compléments, la question de revenir vers le public pour le consulter sur ces modifications se poserait. Le sujet pourra être traité dans le cadre des revues de mise en œuvre de la réversibilité.

L'Ae s'est donc attachée à regarder les quelques points particuliers d'attention soulevés dans son analyse de l'étude d'impact et de certaines approches particulièrement innovantes. Sans atteindre l'exhaustivité, les principaux questionnements de l'Ae résiduels portent sur :

- les incertitudes retenues par l'Andra pour la conductivité thermique : l'ensemble des scénarios, y compris les scénarios « What If », n'envisagent qu'une incertitude très faible sur ce paramètre puisqu'elle accepte une marge très faible de 10°C sur les températures maximales simulées dans le Cox (90°C pour une valeur limite acceptable de 100°C). L'Ae rappelle que l'incertitude sur l'accroissement de température donné par un modèle de transfert de chaleur est équivalente à celle sur la conductivité thermique, tout autre paramètre égal par ailleurs. Prendre une marge de sécurité de seulement 10°C pour une élévation maximale de température dans le Cox de 64°C (de 26°C à 90°C) suppose donc que l'incertitude sur la conductivité est estimée à moins de 16 %, ce qui paraît faible et d'ailleurs proche de l'écart-type observé sur les mesures de conductivité[46] ;
- les « risques externes » liés aux activités humaines, répondant pour l'essentiel à nos activités actuelles, sans projection sur l'avenir, voire même sans prise en compte de ce qui pourrait se faire ou serait permis dans d'autres pays que la France, comme la recherche de gaz naturel par forages horizontaux dans le Cox avec fracturation hydraulique ;
- les incertitudes sur les perméabilités des calcaires oxfordiens et du Dogger, bien que non analysées dans la prise en compte des « risques » et incertitudes dans la démonstration de sûreté, car pouvant influer sur les résultats des simulations de scénarios : arrivées d'eau dans le Cox en cas de forage atteignant le Dogger ; niveau de dilution et temps de transfert dans les deux nappes calcaires vers les exutoires et niveau pour les radionucléides ayant traversé le Cox ;

[46] Les rapporteurs n'ont pas eu accès à aux informations sur le domaine de confiance associé à la valeur moyenne de la conductivité thermique.

- l'évolution possible des procédures d'évaluation du risque sanitaire qui font qu'un risque acceptable aujourd'hui (excès de risque de 10^{-5} sur une exposition « vie entière » de 70 ans) ne le sera peut-être plus dans plusieurs siècles[47].

Ces observations confirment la nécessité de multiplier les expertises croisées, d'origines et de spécialités diverses, et l'intérêt du processus itératif engagé pour la démarche de sûreté de l'Andra, dans un domaine encore très peu balisé et où les remises en cause doivent être permanentes. Il s'agit également de sortir d'une vision du futur lointain comme projection de la situation réglementaire, économique, technique et sociale actuelle, pour explorer des évolutions plus marquées de la société.

L'Ae recommande de poursuivre les expertises croisées et créatives, d'origines et de spécialités diverses, y compris sur des résultats considérés aujourd'hui comme acquis.

Elle recommande par ailleurs d'élargir le champ de l'analyse des risques anthropiques à long terme et d'approfondir les connaissances et la prise en compte des incertitudes sur la conductivité thermique

L'ASNR estime dans son avis du 25 novembre 2025 que : « *Le contenu de la version préliminaire du rapport de sûreté comprend les éléments requis par la réglementation, avec un niveau de détail permettant d'avoir la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté nucléaire sera confirmée au moment de la remise de la version du rapport de sûreté établie pour la demande d'autorisation de mise en service de Cigéo, limitée à la phase industrielle pilote* ». Cette formulation indique que des incertitudes demeurent à ce stade quant au niveau de garantie que doit apporter la démonstration de sûreté nécessaire à la mise en service, étape à venir ultérieurement à la DAC.

La délivrance de l'autorisation de création va permettre l'engagement de la construction de Cigéo. Ces travaux considérables pourront être réalisés, et seront source d'impacts significatifs, à l'échelle du projet, sans certitude que l'outil puisse être mis en service et stocker des déchets radioactifs. Des compléments importants à la démonstration de sûreté sont encore attendus de l'Andra après l'autorisation de création et avant la mise en service et d'autres ensuite avant le lancement de la phase de fonctionnement. Certaines parties prenantes ont d'ailleurs estimé que ces compléments sont suffisamment conséquents pour qu'on ne puisse pas encore parler de démonstration de sûreté pour le projet d'ensemble.

4. Garanties et réversibilité

4.1 Garanties financières

À défaut de disposer d'un coût actualisé aux conditions économiques actuelles, il n'est pas possible de connaître le niveau de couverture des coûts par les provisions, ni le délai restant pour compléter ce niveau de couverture (cf. partie 1.2.4).

[47] Aujourd'hui, on constate une augmentation du nombre de cancers, avec une forte suspicion de causes environnementales ; il est envisageable que des générations futures veuillent renforcer la prévention en diminuant les niveaux acceptables, avec une espérance de vie peut-être accrue.

L'Ae recommande de comparer le niveau de couverture des coûts aux provisions constituées, ainsi que le délai restant aux producteurs pour atteindre une couverture totale par site de production.

L'État assure le contrôle du dispositif de sécurisation des financements qui comprend :

- un fonds destiné aux études de conception de Cigéo, ainsi qu'aux opérations et travaux préalables au démarrage de la phase de construction ;
- un fonds destiné à la construction, l'exploitation, la fermeture, l'entretien et la surveillance de Cigéo ;
- un fonds destiné au financement des recherches et des études relatives à l'entreposage et au stockage des déchets HA et MA-VL, incluant les coûts de fonctionnement du laboratoire souterrain.

Début 2025, l'Andra a fourni une actualisation[48] de l'estimation des coûts à l'ANSR. Elle conduit à une fourchette entre 28,9 et 32,6 Md€$_{2012}$, y compris les dépenses déjà réalisées et la surveillance pendant 300, voire 500 ans, date postulée d'oubli du stockage retenue pour la démonstration de sûreté. L'évolution des indices et index principaux sur la période 2011-2023 est comprise entre 20 et 30 %. Les coûts incertains associés à la construction initiale sont estimés entre 0,6 et 1,9 Md€[49]. Ces éléments ne sont pas présents dans le dossier d'autorisation de création. L'ASNR a émis un avis[50] concernant « *les fondements techniques de l'évaluation des coûts afférents* » soulignant la rigueur de l'exercice, mais dont il ressort notamment que :

- de nombreuse incertitudes demeurent et que le respect du calendrier est primordial pour la maîtrise des coûts ;
- l'inventaire de réserve est pris en compte pour les principes de conception et leurs coûts associés, mais pas pour la réalisation des ouvrages de stockage nécessaires ;
- le financement de la recherche après 2055 n'est pas prévu, et certaines options envisagées ne présentent pas à ce jour les garanties de sûreté adéquates ;
- les conséquences d'un arrêt du projet avant son terme ne sont pas évaluées ;
- l'exercice doit se poursuivre de manière itérative.

Comme mentionné dans ses précédents avis, l'Ae considère que ce sujet présente un enjeu majeur afin de ne pas faire peser une contrainte financière exorbitante sur les générations futures. À ce titre, elle appelle l'attention de l'État sur les points suivants :

- l'enveloppe ne couvre pas la recherche de solutions alternatives aux modalités de stockage envisagées à ce jour, en particulier en cas d'identification de problèmes majeurs lors de la phase du pilote industriel, et aux opérations qui seraient rendues nécessaires en cas de mise en œuvre d'autres choix quant à la réversibilité ou à la récupération des déchets. Elle rejoint en cela la remarque de l'Andra sur les conséquences de l'arrêt du projet avant son terme ;
- les surcoûts induits pour la réversibilité de certains choix, comme le scellement progressif des alvéoles HA, n'est pas évalué ni pris en compte dans le coût total ;

48 Dossier d'actualisation du 12 mai 2025 et synthèse
49 Variations induites par l'importance des marges et des taux d'aléas pris.
50 Avis ASNR n°2025-AV-012 du 23 septembre 2025

- le coût du stockage de l'inventaire de réserve (cf. parties 1.2.5 et 2.1 sur la faisabilité technique) n'est pas esquissé alors que cela peut être un enjeu majeur dans le cadre de la révision du PNGMDR comme de la PPE ;
- le financement doit être anticipé tant que les producteurs présentent des capacités d'intégration de ces charges dans les tarifs de vente d'électricité ou autres revenus associés.

Pour l'Ae, ces compléments d'information sont de nature à modifier l'enveloppe des provisions à solliciter auprès des producteurs ou à éclairer les parties prenantes dans les décisions futures relatives aux plans et programmes dans lesquels s'inscrit le projet Cigéo.

L'Ae recommande à l'Andra :

- ***de compléter le dossier afin d'y intégrer une présentation synthétique des coûts du projet ;***
- ***d'évaluer les coûts d'une fermeture anticipée de Cigéo, comprenant notamment une récupération des colis, ainsi que les opérations ayant une incidence sur la réversibilité ;***
- ***d'estimer les coûts nécessaires au stockage de l'inventaire de réserve, au niveau de connaissance actuel de sa faisabilité.***

Elle recommande à l'État :

- ***d'intégrer dans le cadre programmatique (PNGMDR et PPE notamment) les coûts de la prise en charge de l'inventaire de réserve dans l'évaluation des incidences des diverses options ;***
- ***de préciser les modalités de sécurisation du financement de l'extension du stockage afin de prendre en compte l'inventaire de réserve, notamment par rapport aux options relatives au stockage du plutonium et des combustibles usagés, dans des délais compatibles avec la capacité des producteurs à faire porter la charge sur la vente d'énergie.***

4.2 Garantie de réversibilité, mise en œuvre et coûts induits

La réversibilité est mise en œuvre tout au long de la vie de l'installation. Pour toute évolution, au-delà du principe de ne pas dégrader la sûreté, une analyse multicritères est menée afin de prendre la décision de mettre en œuvre ou non une ou plusieurs des dimensions de la réversibilité. Les revues de la mise en œuvre du principe de réversibilité seront organisées au moins tous les cinq ans (article L. 542-10-1 du code de l'environnement).

Comme indiqué dans l'avis de 2024, le dossier précise que la réversibilité ne consiste pas seulement en la capacité à retirer les colis mais également en la progressivité de la construction, incluant la phase d'expérimentation Phipil et la flexibilité du fonctionnement qui permettent à chaque étape de prendre en compte les avancées technologiques, les évolutions du spectre des déchets à stocker et les aspirations de la société (cf. figure 4). L'Ae rappelait que l'étape technique clé reste la démonstration de réversibilité prévue au début du fonctionnement de l'installation avant l'autorisation de continuation.

La mise en œuvre de la réversibilité a un coût qui n'est pas provisionné, au-delà des incidences sur la conception du centre de stockage. Le projet prévoit des opérations importantes pour la sûreté d'exploitation (exemple : le scellement des alvéoles HA) mais dont les incidences ne sont pas neutres sur la réversibilité, notamment en matière de coût. Cette approche de la question n'est pas abordée

mais devra nécessairement être apportée au débat lors des revues de mise en œuvre de la réversibilité, ainsi que lors des révisions successives du PNGMDR et de la PPE.

L'Ae recommande d'évaluer les surcoûts de réversibilité pour chacune des options retenues, y compris celles visant la sûreté d'exploitation.

Par ailleurs, la garantie de réversibilité ne peut se limiter à des principes techniques. La mise en œuvre impose de disposer également des moyens financiers nécessaires. Ainsi, afin d'éviter de faire porter aux générations futures le coût des choix effectués, il conviendrait de provisionner au moins partiellement, les coûts ou, à tout le moins, les surcoûts des opérations validées lors des revues de mise en œuvre du principe de réversibilité visant à garantir la sûreté du stockage. Or, à ce stade, le projet reste, malgré la qualité des réflexions et de la recherche engagées, théorique. La mise en œuvre pratique ne commencera qu'avec la Phipil, et le retour d'expérience de l'accueil des premiers colis HA. Si des problèmes majeurs devaient survenir, comme dans le cas de Stocamine, mettant en péril le principe même du projet (à la mise en service ou ultérieurement), le retrait total des déchets radioactifs entreposé durant cette phase pourrait être nécessaire. Le financement de ce retrait doit être anticipé afin de ne pas le faire peser sur les générations futures.

L'Ae recommande à l'Andra d'évaluer le coût de retrait des déchets entreposés pendant la phase pilote, et à l'État de définir les modalités de provisionnement de ces opérations.

5. Conclusion

Les déchets HA et MA-VL doivent disposer d'une solution de gestion ne faisant pas reposer sur les générations futures des risques associés à des services dont elles n'auront pas profité. Le stockage géologique profond est la solution de gestion internationalement reconnue pour satisfaire à cet enjeu.

Le stockage souterrain de déchets radioactifs Cigéo est un projet hors norme. Sa conception technique et réglementaire a nécessité l'élaboration de notions rarement rencontrées dans un projet industriel ou nucléaire : prise en compte du très long terme, respect des générations futures dont les contraintes et aspirations sont difficilement anticipables à ce jour, réversibilité... Il est constitué de projets différents, mais imbriqués : dans les 30 prochaines années, ce projet sera principalement un très gros chantier de BTP avec ses impacts habituels, sans lien avec les impacts à très long terme du stockage souterrain. Viendra ensuite une exploitation industrielle qui s'étendra sur plusieurs générations, mêlant risques liés aux travaux et risques du stockage. Et enfin, un stockage passif dont les impacts, s'ils ne sont pas maîtrisés et anticipés, pourraient se manifester jusqu'à des dizaines ou centaines de milliers d'années, dans un environnement naturel et humain sans rapport avec notre environnement actuel et dont notre génération ne peut que postuler les contours sans assurance que la réalité correspondra à la base retenue pour la démonstration.

Face à cet enjeu technique, économique et sociétal, l'État et l'Andra ont investi depuis plus de 30 années dans les études, la recherche, l'expérimentation, les confrontations d'expertises nationales et internationales ; le dossier de demande d'autorisation de création en est aujourd'hui le résultat. L'Ae ne peut que se féliciter du caractère très complet, détaillé et de l'analyse en profondeur des

différents aspects environnementaux et de sûreté de ce projet. L'Ae n'a rencontré qu'exceptionnellement un dossier de ce niveau.

Le contenu du dossier est donc très riche d'informations et d'analyses. Le sujet reste cependant vaste et complexe. L'avis de l'ASNR et ses demandes de compléments, les recommandations et questionnements de l'Ae ou les interrogations des parties prenantes montrent que le sujet de l'incidence environnementale et de la sûreté de Cigéo est loin d'être épuisé et que chaque acteur doit faire preuve d'humilité au vu des problématiques techniques et sociétales posées par ce projet. Il n'y a pas d'impératif à répondre dès à présent à l'ensemble de ces questions dès lors que les premiers colis de déchets n'arriveront pas avant 25 ans. Il est indispensable cependant, comme s'y est engagée l'Andra, de poursuivre les études – et la poursuite de l'exploitation du laboratoire souterrain de Bure est un atout –, de confronter les expertises, d'origines diverses, d'apporter les compléments demandés et éventuellement de remettre en cause certaines certitudes ou supposées telles.

L'importance des informations et analyses produites ne doit pas faire oublier la nécessité d'éclairer et de consulter le public, en les mettant à disposition, les capitalisant et les hiérarchisant, en discriminant les thématiques les plus critiques, en apportant au public le recul nécessaire par rapport aux résultats en vue de la compréhension d'ensemble du projet, de ses enjeux – impacts et sûreté –, des choix effectués, techniques ou sociétaux, et lorsque c'est le cas, de ses faiblesses et limites. En particulier, il conviendrait d'expliquer parfois pourquoi certains sujets font l'objet de multiples travaux, alors que d'autres, non moins importants, semblent moins pris en considération ou moins repris dans les documents mis à disposition, comme cet avis l'a mis en évidence.

2.2.2 Mémoire en réponse de l'Andra sur l'avis rendu par l'Autorité environnementale de l'IGEDD

Le mémoire en réponse de l'Andra sur l'avis rendu par l'Autorité environnementale de l'IGEDD est appelé par les articles suivants du code de l'environnement :

- article L. 122-1, paragraphes V et VI ;
- article R. 593-22.

Le mémoire est présenté en annexe du présent document.

2.3 Avis des collectivités territoriales

Il s'agit des avis des collectivités territoriales et des groupements de communes intéressés, situés dans la zone de consultation définie par décret (4). Ces avis valent aussi au titre de la réglementation spécifique au centre de stockage Cigéo.

Ces avis sont fondés sur les articles suivants du code de l'environnement :

- article L. 122-1, paragraphe V ;
- article R. 122-7, paragraphe I ;
- article L. 542-10-1, 12e alinéa ;
- articles R. 593-20 et R. 593-21.

En application du décret précité, l'arrêté interpréfectoral du 30 septembre 2025 définit, dans le périmètre de concertation, les 74 collectivités concernées sur deux départements, dont 56 communes du rayon des 10 km autour de l'INB Cigéo. Ces collectivités sont :

- région : conseil régional Grand Est ;
- départements : conseil départemental de la Haute-Marne (52), conseil départemental de la Meuse (55) ;
- établissements public de coopération intercommunale (EPCI) : communauté d'agglomération de Bar-le-Duc - Sud Meuse (55), communauté de communes Commercy-Void-Vaucouleurs (55), communauté de communes des Portes de Meuse (55), communauté d'agglomération du Grand Saint-Dizier, Der et Blaise (52), communauté de communes du Bassin de Joinville en Champagne (52) ;
- communes : Abainville (55), Amanty (55), Badonvilliers-Gérauvilliers (55), Biencourt-sur-Orge (55), Bonnet (55), Bovée-sur-Barboure (55), Boviolles (55), Bure (55), Chassey-Beaupré (55), Couvertpuis (55), Dainville-Bertheléville (55), Dammarie-sur-Saulx (55), Delouze-Rosières (55), Demange-Baudignécourt (55), Gondrecourt-le-Château (55), Hévilliers (55), Horville-en-Ornois (55), Houdelaincourt (55), Le Bouchon-sur-Saulx (55), Ligny-en-Barrois (55), Longeaux (55), Mandres-en-Barrois (55), Marson-sur-Barboure (55), Mauvages (55), Montiers-sur-Saulx (55), Morley (55), Naix-aux-Forges (55), Nantois (55), Reffroy (55), Ribeaucourt (55), Saint-Amand-sur-Ornain (55), Saint-Joire (55), Tréveray (55), Villers-le-Sec (55), Aingoulaincourt (52), Annonville (52), Chevillon (52), Cirfontaines-en-Ornois (52), Echenay (52), Effincourt (52), Epizon (52), Germay (52), Germisay (52), Gillaumé (52), Lezéville (52), Montreuil-sur-Thonnance (52), Noncourt-sur-le-Rongeant (52), Osne-le-Val (52), Pansey (52), Paroy-sur Saulx (52), Poissons (52), Sailly (52), Saudron (52), Suzannecourt (52), Thonnance-lès-Joinville (52), Thonnance-les-Moulins (52) ;

- autres groupements : pôle d'équilibre territorial et rural (PETR) du Pays Barrois (55), syndicat intercommunal des eaux du Haut-Ornain (55), syndicat mixte des eaux du Sud Meuse (55), syndicat intercommunal des eaux et d'assainissement de la vallée de l'Orge (55), syndicat intercommunal des eaux d'Horville et Tourailles (55), syndicat intercommunal à vocation multiple (SIVOM) de la source Godion (55), syndicat Mixte Nord Haute-Marne (52), syndicat intercommunal des eaux de la région d'Echenay (52), syndicat des eaux de Thonnance-lès-Joinville et Suzannecourt (52), syndicat intercommunal des eaux de la Manoise (52).

Les préfectures de la Meuse et de la Haute-Marne ont sollicité ces collectivités par courrier en date du 6 octobre 2025. Conformément à l'article R. 122-7 du code de l'environnement, ces dernières ont disposé d'un délai de deux mois à la réception de la demande pour rendre un avis.

52 collectivités sur 74 ont formellement répondu dans les délais impartis (40 communes, 10 autres types de collectivités). Les avis sont répartis de la manière suivante :

- 38 avis sont favorables,
- 7 avis sont défavorables,
- 3 avis sont réservés,
- 4 sont sans avis.

Les avis délivrés sont présentés ci-après par département et ordre alphabétique, et mis à disposition sur le site internet de la préfecture de la Meuse : https://www.meuse.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/CIGEO/Demande-d-autorisation-de-creation-de-Cigeo.

2.3.1 Avis du conseil régional Grand Est

Date d'affichage : 14/11/2025
Date AR Prefecture : 14/11/2025 14/11/2025
ID Actes : 067-200052264-20251114-268334-DE-1-1

REPUBLIQUE FRANÇAISE

La Région Grand Est

ALSACE
CHAMPAGNE-ARDENNE
LORRAINE

DÉLIBÉRATION DE LA COMMISSION PERMANENTE DU CONSEIL REGIONAL

Séance du 14 novembre 2025

Délibération **N°25CP-2015**

Objet	Demande d'avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo)

APRÈS EN AVOIR DÉLIBÉRÉ, LA COMMISSION PERMANENTE DU CONSEIL RÉGIONAL GRAND EST DÉCIDE

Vu la délibération du Conseil Régional N°23SP-405 du 13/01/2023 portant délégation de compétences à la Commission Permanente,

Vu l'avis émis par les Commissions Environnement et Territoires du Conseil Régional,

Vu les articles L122-1 V et R122-7 du Code de l'environnement,

Vu l'étude d'impact et le dossier de demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs,

- **d'émettre un avis favorable** à la demande de création de Cigéo.

Strasbourg le 14 novembre 2025,

Le Président du Conseil Régional

Franck LEROY

2.3.2 Avis des collectivités territoriales et de leurs groupements situés en Meuse

2.3.2.1 Avis d'Abainville

République Française
Département : MEUSE
Arrondissement : Commercy
ABAINVILLE

Séance du mercredi 22 octobre 2025

Délibération N° DE_2025_032

NOMBRE DE MEMBRES		
En exercice	Présents	Votants
10	9	10
Date de la convocation : 14/10/2025		
Pour	Contre	Abstention
9	0	1
Résultat du vote : adoptée		

Le vingt-deux octobre deux mille vingt-cinq, à 19 heures 00, l'assemblée régulièrement convoquée, s'est réunie au nombre prescrit par la loi dans le lieu habituel de ses séances (Salle du Conseil), sous la présidence de Jean-Claude HERPIERRE.

Présents : Jean-Claude HERPIERRE, Vincent BONTANT, Julie COLLIN, Cédric LAURENT, Germain LABAT, Catherine PELTIER - SALZARD, Francis METZ, Alexandre VIENNET, Régis SURE
Représentés : Patrick HANET représenté par Jean-Claude HERPIERRE
Absents et Excusés :

Conformément à l'article 2121-15 du CGCT, Cédric LAURENT est nommé(e) à l'unanimité secrétaire de séance.

Objet : Avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO)

Le conseil municipal a été destinataire du projet d'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR), relatif à la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base dénommée Cigéo déposée par l'Andra.

Le conseil municipal est invité à rendre un avis sur ce dossier.

Après en avoir délibéré, le conseil municipal décide de rendre un avis favorable avec une remarque sur l'absence de vision sur la fiscalité des communes de proximités. Le conseil municipal fait également une remarque sur un problème matériel, pour l'affichages spécifique des documents du projets Cigéo qui surcharge le panneau de la commune

Ainsi fait et délibéré, les jour mois et an que dessus.

Jean-Claude HERPIERRE
Président de séance

Cédric LAURENT
Secrétaire de séance

DE_2025_032

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Sous-Préfecture de COMMERCY
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-10-24(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: ABAINVILLE - commune
N° de SIREN: 215500018
Numéro Acte de la collectivité locale: DE_2025_032
Objet acte: Avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO)
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 8.8-Environnement
Identifiant Acte: 055-215500018-20251022-DE_2025_032-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.2 Avis d'Amanty

COMMUNE D'AMANTY 55130	DELIBERATION DU CONSEIL MUNICIPAL

REUNION DE CONSEIL DU 28 octobre 2025

vingt-huit octobre deux mille vingt-cinq l'assemblée régulièrement convoquée, s'est réunie sous la présidence de Jean-Luc DIOTISALVI

Membres présents: Marie José AUER, Jean-Michel BERTIN, Jean-luc DIOTISALVI, Michel FOULON, Alain PREY, Joël RIGAUX
Absent(s) excusé(s):
Absent(s) non excusé(s): Véronique DE KONING
Secrétaire de séance : Alain PREY

Avis concernant la demande dautorisation de création du projet CIGEO
DE_2025_10_005

Le Maire rappel les grandes lignes du courrier envoyé par la préfecture du 06/10/2025 en précisant les différents avis donnés pour ce projet vu la décision antérieur du Conseil Municipal s'opposant contre l'enfouissement de déchets radioactifs en couche profonde, Mr le Maire demande à nouveau au Conseil actuel de se prononcer sur oui ou non pour l'autorisation d'enfouissement de déchets radioactifs en couche profonde et donc donne un avis pour la création du projet CIGEO :

Le Conseil Municipal à l'unanimité donne un avis négatif à la question précédente.

Pour : 0 **Contre : 5** **Abstention (s) : 1**

Convocations envoyées le 23/10/2025
Compte rendu des délibérations affiché le 30/10/2025

Ainsi délibéré les jour, mois, et an susdits.
Pour extrait conforme au registre des délibérations

Le Maire,
Jean-Luc DIOTISALVI

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Sous-Préfecture de COMMERCY
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-10-30(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: AMANTY - commune
N° de SIREN: 215500059
Numéro Acte de la collectivité locale: DE_2025_10_005
Objet acte: Avis concernant la demande dautorisation de création du projet CIGEO
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 9.1-Autres domaines de competences des communes
Identifiant Acte: 055-215500059-20251028-DE_2025_10_005-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.3 Avis de Badonvilliers-Gérauvilliers

République française
MEUSE
BADONVILLIERS GERAUVILLIERS - COMMUNE

Séance du vendredi 24 octobre 2025

Membres en exercice : 9	Le *vingt-quatre octobre deux mille vingt-cinq l'assemblée régulièrement convoquée, s'est réunie sous la présidence de Jean-Pierre MARQUELET,*
Présents : 5 **Votants :** 6	**Présents :** Jean-Pierre MARQUELET, Fabienne MEYER, Jérôme BRESSAN, Mauricette BENIER, Dominique MEYER
Pour : 4 **Contre : 2** **Abstentions : 0**	**Représentés :** Yves-Henri AVEAUX représenté par Jean-Pierre MARQUELET
	Excusés :
	Absents : Lara AVEAUX, Flavia BRESSAN, Jérémy RODE
Secrétaire de séance :	Fabienne MEYER

DE_019_2025 - Objet : Avis CIGEO

Suite au courriel de la préfecture demandant l'avis du conseil municipal concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchêts radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue, le conseil municipal émet un avis défavorable.

Pour extrait conforme certifié exécutoire,

Jean-Pierre MARQUELET
Président de séance
séance

Fabienne MEYER
Secrétaire de

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Sous-Préfecture de COMMERCY
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-10-28(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: BADONVILLIERS GERAUVILLIERS - commune
N° de SIREN: 215500265
Numéro Acte de la collectivité locale: DE_019_2025
Objet acte: Avis CIGEO
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 8.8-Environnement
Identifiant Acte: 055-215500265-20251024-DE_019_2025-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.4 Avis de Bonnet

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

DÉPARTEMENT
55 - MEUSE

Nombre de conseillers

• en exercice	9
• présents	5
• votants	5
• absents	4
• exclus	

Date de convocation :
04 novembre 2025

Date d'affichage :
25 novembre 2025

Objet
Avis relatif à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage de déchets radioactifs Cigéo

EXTRAIT DU REGISTRE DES DÉLIBÉRATIONS DU CONSEIL MUNICIPAL

De la commune BONNET

Séance du 21 novembre 2025 à 19 heures 00

Le Conseil Municipal de cette commune, régulièrement convoqué, s'est réuni au nombre prescrit par la loi, dans le lieu habituel de ses séances sous la présidence de :

M. ANDRE Philippe

Étaient présents :
MORISOT Maryse, BERARD Michel, CERUTTI Alexandre, PEPIN Frédéric.
Etaient absents : LEMOINE Ludovic, LABARRE Renaud, FOISSY Thierry, MAIRE Jean-Marie

Secrétaire de séance :

Mme MORISOT Maryse

Le Maire informe les membres du conseil municipal que l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs a déposé, le 16 janvier 2023, auprès du ministre chargé de la sûreté nucléaire, un dossier de demande d'autorisation de création (DAC) d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo). Ce projet a été déclaré opération d'intérêt national et d'utilité publique, par décrets n° 2022-992 et n° 2022-993 du 07 juillet 2022.

Le Maire précise que la commune de Bonnet faisant partie des collectivités concernées par ce projet, elle est amenée à fournir un avis sur ce dossier, au regard des incidences environnementales notables du projet sur le territoire au titre de l'article L. 122-1 V du code de l'environnement.

Le conseil municipal, après en avoir délibéré, décide, à l'unanimité, de rendre un avis favorable à la DAC d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo).

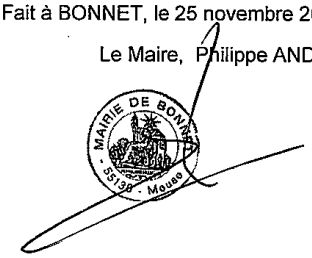
Il autorise le Maire à signer les documents relatifs à ce dossier.

Acte rendu exécutoire après le dépôt en Sous-préfecture DE COMMERCY le 25 novembre 2025.

Publié ou notifié le 25 novembre 2025.

Fait à BONNET, le 25 novembre 2025

Le Maire, Philippe ANDRE



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Sous-Préfecture de COMMERCY
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-11-25(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: BONNET - commune
N° de SIREN: 215500596
Numéro Acte de la collectivité locale: 2025_45
Objet acte: Avis relatif à la DAC CIGEO
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 2.2-Actes relatifs au droit d occupation ou d utilisation des sols
Identifiant Acte: 055-215500596-20251121-2025_45-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.5 Avis de Bovée-sur-Barboure

République Française
Département : MEUSE
Arrondissement : Commercy
BOVEE SUR BARBOURE - COMMUNE

Séance du mercredi 03 décembre 2025

Délibération N° DE_014_2025

NOMBRE DE MEMBRES		
En exercice	Présents	Votants
11	9	10
Date de la convocation : 27/11/2025		
Pour	Contre	Abstention
9	1	0
Résultat du vote : adoptée		

Le trois décembre deux mille vingt-cinq, à 19 heures 00, l'assemblée régulièrement convoquée, s'est réunie au nombre prescrit par la loi dans le lieu habituel de ses séances (Mairie), sous la présidence de Dominique LEROUX.

Présents : Dominique LEROUX, Bruno SERROTTI, Fabrice GUILLAUME, Bénédicte SERROTTI, Quentin PIERSON, David DACHELET, Cédric PECHE, David OLLINGER, Jean-Paul GERARD
Représentés : Sébastien CHION représenté par Dominique LEROUX
Absents et Excusés : Geoffroy PAGNON

Conformément à l'article 2121-15 du CGCT, Fabrice GUILLAUME est nommé(e) à l'unanimité secrétaire de séance.

Objet : avis du conseil sur la DAC d'un centre de stockage CIGEO

Le Maire rappelle que lors de la séance du conseil du 25 novembre dernier, Madmae Pauline FOURNIER de l'ANDRA était venue présenter le projet de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactfis de haute activité et de moyenne activité à vie lngue (CIGEO). A l'issu de sa présentation, le Conseil avait décidé de remettre à une date ultérieure la décision qui sera prise afin de se donner le temps de la réflexion.

L'avis devant être rendu avant le 6 décembre le Maire demande donc aux membres du conseil de se prononcer sur cette DAC.

Après en avoir délibéré, le Conseil, par 9voix pour et 1 voix contre, émet un avis favorable à la DAC de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactfis de haute activité et de moyenne activité à vie lngue (CIGEO).

Ainsi fait et délibéré, les jour mois et an que dessus.

Dominique LEROUX
Président de séance

Fabrice GUILLAUME
Secrétaire de séance

DE_014_2025

DE_014_2025

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Sous-Préfecture de COMMERCY
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-12-04(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: BOVEE SUR BARBOURE - commune
N° de SIREN: 215500661
Numéro Acte de la collectivité locale: DE_014_2025
Objet acte: avis du conseil sur la DAC d'un centre de stockage CIGEO
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 9.1-Autres domaines de competences des communes
Identifiant Acte: 055-215500661-20251203-DE_014_2025-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.6 Avis de Boviolles

République Française
Département : MEUSE
Arrondissement : Commercy
BOVIOLLES - COMMUNE

Séance du vendredi 31 octobre 2025

Délibération N° DE_012_2025

NOMBRE DE MEMBRES		
En exercice	Présents	Votants
5	5	5
Date de la convocation : 10/10/2025		
Pour	Contre	Abstention
1	2	2
Résultat du vote : rejetée		

Le trente et un octobre deux mille vingt-cinq, à 20 heures 00, l'assemblée régulièrement convoquée, s'est réunie au nombre prescrit par la loi dans le lieu habituel de ses séances (Salle du conseil municipal), sous la présidence de Jean-Pierre LIGIER.

Présents : Jean-Pierre LIGIER, Denis MICHEL, Fabrice SAMSON, Christine GAUDARE, Blandine CHARPENTIER
Représentés :
Absents et Excusés :

Conformément à l'article 2121-15 du CGCT, Blandine CHARPENTIER est nommé(e) à l'unanimité secrétaire de séance.

Objet : demande d'avis concernant l'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie longue (cigéo)

Le Maire rapporte que l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) a déposé, le 16 janvier 2023, auprès du ministre chargé de la sûreté nucléaire, un dossier de demande d'autorisation de création (DAC) d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo). Ce projet a été déclaré opération d'intérêt national et d'utilité publique, par décrets n° 2022-992 et n° 2022-993 du 07 juillet 2022.

Le ministère chargé de la sûreté nucléaire, et plus particulièrement la direction générale de la prévention des risques (DGPR), a la responsabilité de piloter cette procédure d'instruction et à ce titre, a saisi Monsieur le Préfet de la Meuse par courrier du 30 septembre 2025.

Conformément aux dispositions de l'article R. 593-21 du Code de l'environnement, il revient donc au Préfet de la Meuse de solliciter, en tant que préfet coordonnateur pour le projet Cigéo par arrêté du Premier ministre en date du 22 décembre 2020, l'avis des collectivités territoriales et leurs groupements intéressés au regard des incidences environnementales notables du projet sur leur territoire au titre de l'article L. 122-1 V du code de l'environnement qui prévoit : « Lorsqu'un projet est soumis à évaluation environnementale, le dossier présentant le projet comprenant l'étude d'impact et la demande d'autorisation déposée est transmis pour avis à l'autorité environnementale ainsi qu'aux collectivités territoriales et à leurs groupements intéressés par le projet ».

La liste des collectivités territoriales et de leur groupements, prise en application du décret n° 2025-771 du 04 août 2025 définissant la zone de consultation des collectivités territoriales de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, a été définie par arrêté inter préfectoral n° 2025-1972 du 30

septembre 2025.

L'article R. 122-7 du code de l'environnement dispose que les collectivités et groupements intéressés disposent d'un délai de deux mois pour délibérer. Les avis ou l'information relative à l'absence d'avis dans le délai mentionné seront ensuite transmis à l'Andra en sa qualité de maître d'ouvrage du projet Cigéo. Ils seront également joints au dossier de l'enquête publique.

Le dossier transmis par l'Andra a fait l'objet d'une instruction technique par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) qui a rendu trois rapports publics concernant l'expertise de sûreté du projet Cigéo. L'ASNR vient également de lancer la consultation des parties prenantes sur son projet d'avis qui a été préalablement communiqué aux membres du Conseil.

Le Maire demande donc aux membres du Conseil Municipal d'émettre un avis et met la question au vote.

Après avoir délibéré le Conseil Municipal émet un avis défavorable (à 2 voix contre, 1 voix pour et 2 abstentions) à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs en haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo).

Ainsi fait et délibéré, les jour mois et an que dessus.

Jean-Pierre LIGIER
Président de séance

Blandine CHARPENTIER
Secrétaire de séance

DE_012_2025

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Sous-Préfecture de COMMERCY
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-11-06(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: BOVIOLLES - commune
N° de SIREN: 215500679
Numéro Acte de la collectivité locale: DE_012_2025
Objet acte: demande d'avis concernant l'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie longue (cigéo)
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 9.1-Autres domaines de competences des communes
Identifiant Acte: 055-215500679-20251031-DE_012_2025-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.7 Avis de Bure

Envoyé en préfecture le 19/12/2025
Reçu en préfecture le 19/12/2025
Publié le 11/12/2025
ID : 055-215500877-20251205-DEL_2025_49-DE

Commune de BURE
MEUSE

EXTRAIT DU PROCÈS-VERBAL
Séance du 05 décembre 2025

L'an deux mille vingt-cinq, le vendredi **cinq décembre** à vingt heures trente minutes, le Conseil Municipal de cette commune, légalement convoqué conformément à l'article L.2121.10 du C.G.C.T, s'est réuni en Mairie sous la présidence de M. Gérard **ANTOINE**.

La convocation est adressée et affichée le 28 novembre 2025.

Sont présents : Gérard **ANTOINE**, Angélique **BLOT**, Corinne **DEZOTHEZ**, Dany **EDOT**, Arlette **MATHIAS**, conseillers municipaux.

Est absente : Shirley **CORNILLE**

Nombre de conseillers en exercice : **6** Le quorum étant atteint, l'Assemblée peut délibérer.

Mme **BLOT** Angélique est nommée secrétaire de séance par le conseil municipal, conformément à l'article L.2121-15 du CGCT.

Aucune remarque n'ayant été formulée, le procès-verbal de la séance du 23 octobre 2025 est approuvé.

2025/49 – CIGEO : Demande d'avis concernant la demande d'autorisation de création

Vu le code général des collectivités territoriales ;

Vu le courrier de Monsieur le Préfet de la Meuse en date du 06 octobre 2025 sollicitant l'avis du conseil municipal concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue (CIGEO) ;

Après avoir pris connaissance des différents avis déjà publiés ;

LE CONSEIL MUNICIPAL, après en avoir délibéré et
A 3 voix POUR et 2 voix CONTRE,

ÉMET un avis favorable à la demande d'autorisation de création de CIGEO.

Fait en séance, les jours, mois et an ci-dessus,
Pour copie conforme,

Gérard ANTOINE, Maire

MAIRIE DE BURE
MEUSE

2.3.2.8 Avis de la communauté d'agglomération de Bar-le-Duc - Sud Meuse

Extrait du Registre des Délibérations du Conseil de la Communauté d'Agglomération BAR-LE-DUC SUD MEUSE

Séance du 4 décembre 2025

Date de la convocation : 21 novembre 2025

Nombre de Conseillers en exercice : 62

Sont présents :
Martine JOLY, Présidente ; Alain HAUET, Vice-Président ; Bernard DELVERT, Vice-Président ; Marie-Josée HORNBERGER, Conseillère Déléguée ; Fabrice COLLIGNON, Conseiller Délégué ; Emilie ACHARD, Conseillère Déléguée ; Jean-Paul LEMOINE, Conseiller Communautaire ; Vincent REMOND, Conseiller Communautaire ; Marie-Laure LEFEVRE, Conseillère Communautaire ; Isabelle CEREDA, Conseillère Communautaire ; Bertrand PANCHER, Conseiller Communautaire ; Sébastien FRANZ, Conseiller Communautaire ; Benoît DEJAIFFE, Conseiller Communautaire ; Mathias RAULOT, Conseiller Communautaire ; Sylvie JOLLY, Conseillère Communautaire ; Pierre-Etienne PICHON, Conseiller Communautaire ; Gérard FILLON, Vice-Président ; Michel LAGABE, Conseiller Communautaire ; Benoît HACQUIN, Conseiller Communautaire ; Francis JOURON, Conseiller Communautaire ; Gérard ABBAS, Vice-Président ; Michel ROUSSELOT, Conseiller Communautaire ; Michel VIARD, Conseiller Délégué ; Jean-Michel GUYOT, Vice-Président ; Elisabeth GUERQUIN, Vice-Présidente ; Michel FAYS, Conseiller Communautaire ; Fabrice VARINOT, Conseiller Communautaire ; Etienne METOR, Conseiller Communautaire ; Serge NICOLAS, Conseiller Communautaire ; Lionel BEAUFORT, Conseiller Communautaire ; Anthony YUNG, Conseiller Communautaire ; Sylvain GILLET, Vice-Président ; Marc DEPREZ, Vice-Président ; Hervé VUILLAUME, Conseiller Communautaire ; Luc FLEURANT, Conseiller Communautaire ; Alexandre AUBRY, Conseiller Communautaire ; François GATINOIS, Conseiller Communautaire ; Gérald MICHEL, Vice-Président ; Michel RIEBEL, Vice-Président ; Marie-France BERTRAND, Vice-Présidente ; Daniel BRIAT, Conseiller Délégué ; Jean-Paul REGNIER, Vice-Président ; Christian CHAUPAIN, Conseiller Communautaire Titulaire

Sont excusés avec pouvoir de vote :
Fatima EL HAOUTI par pouvoir à Martine JOLY, Atissar HIBOUR par pouvoir à Vincent REMOND, Nathalie PLATINI par pouvoir à Marie-Josée HORNBERGER, Jérôme CHARDIN par pouvoir à Joël SWARTENBROEKX, Patrick BERNARD par pouvoir à Michel RIEBEL, Céline MAYEUR par pouvoir à Alexandre AUBRY, Didier SUGG par pouvoir à Luc FLEURANT

Sont excusés :
Atika BENSAADI, Frédéric VERLANT, Séverine KUBANY, Lydéric ENCHERY, Anne MOLET, Emmanuelle SIMON, Loup KNAVIE, Christophe GALOPIN, Philippe GERARD, Marie-Françoise NAVELOT-GAUDNIK, Cathie VARNIER, Jean-Luc OBARA

Secrétaire de Séance : Gérald MICHEL

CIGEO - DEMANDE D'AVIS CONCERNANT LA DEMANDE D'AUTORISATION DE CRÉATION D'UN CENTRE DE STOCKAGE
2025_12_04_1

L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) a déposé, le 16 janvier 2023, auprès du ministre chargé de la sûreté nucléaire, un dossier de demande d'autorisation de création (DAC) d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo). Ce projet a été déclaré opération d'intérêt national et d'utilité publique, par décrets n° 2022-

1

992 et n° 2022-993 du 07 juillet 2022.

Le ministère chargé de la sûreté nucléaire, et plus particulièrement la direction générale de la prévention des risques (DGPR), a la responsabilité de piloter cette procédure d'instruction et à ce titre, a saisi Monsieur le Préfet de la Meuse par courrier du 30 septembre 2025.

Conformément aux dispositions de l'article R. 593-21 du Code de l'environnement, il lui revient de solliciter, en tant que préfet coordonnateur pour le projet Cigéo par arrêté du Premier ministre en date du 22 décembre 2020, l'avis des collectivités territoriales et leurs groupements intéressés au regard des incidences environnementales notables du projet sur leur territoire au titre de l'article L. 122-1 V du code de l'environnement qui prévoit : « *Lorsqu'un projet est soumis à évaluation environnementale, le dossier présentant le projet comprenant l'étude d'impact et la demande d'autorisation déposée est transmis pour avis à l'autorité environnementale ainsi qu'aux collectivités territoriales et à leurs groupements intéressés par le projet* ».

Le dossier de demande d'autorisation de création est disponible par voie dématérialisée à l'adresse suivante : https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-reference. Des exemplaires papiers du dossier de DAC sont consultables, sur rendez-vous, à la Préfecture de la Meuse, à la Préfecture de la Haute-Marne et au Centre de l'Andra en Meuse Haute-Marne.

La liste des collectivités territoriales et de leur groupements, prise en application du décret n° 2025-771 du 04 août 2025 définissant la zone de consultation des collectivités territoriales de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, a été définie par arrêté inter préfectoral n° 2025-1972 du 30 septembre 2025 et publié aux recueils des actes administratifs des préfectures de la Meuse et de la Haute-Marne.

L'article R. 122-7 du code de l'environnement dispose que les collectivités et groupements intéressés disposent d'un **délai de deux mois pour délibérer**. Les avis ou l'information relative à l'absence d'avis dans le délai mentionné seront ensuite transmis à l'Andra en sa qualité de maître d'ouvrage du projet Cigéo. Ils seront également joints au dossier de l'enquête publique.

Le dossier transmis par l'Andra a fait l'objet d'une instruction technique par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) qui a rendu trois rapports publics concernant l'expertise de sûreté du projet Cigéo que vous pouvez trouver à l'adresse suivante : https://reglementationcontrole.asnr.fr/espace-professionnels/installations-nucleaires/projet-de-centre-de-stockage-en-couchegeologique-profonde-cigeo#aujourd-hui-instruction-de-la-dac

L'ASNR vient également de lancer la consultation des parties prenantes sur son projet d'avis qui est joint en annexe. .

En conséquence, le Conseil Communautaire, sur avis conforme de la séance privée réunie toutes commissions confondues, à la majorité, décide de :

Par 40 voix pour
9 voix contre :
M. DEJAIFFE, M. RAULOT, Mme JOLLY, M. CHARDIN, M. JOURON, M. METOR, M. NICOLAS, M. DEPREZ, M. REGNIER
Ne prend pas part au vote :
Mme ACHARD

- Émettre un avis favorable concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO),

- donner tout pouvoir à la Présidente ou à l'un de ses Vice-Présidents ou Conseillers Délégués pour signer tout document à intervenir et mener à bien cette affaire.

POUR EXTRAIT CONFORME

POUR LA PRESIDENTE,
Le Directeur Général des Services,

Signé électroniquement par : Jean-Marc Clement
Date de signature : 10 déc. 2025
Qualité : DELIBERATIONS AGGLO

Jean-Marc CLEMENT

Annexe 1 : projet d'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo) et son annexe

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

ASNR Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

Projet d'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection, appelé par les dispositions de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, relatif à la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base dénommée Cigéo déposée par l'Andra

L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection,

Vu la directive 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs ;

Vu le code de l'environnement, notamment les titres IV et IX de son livre V et en particulier ses articles L. 542-1-1, L. 542-1-2, L. 542-10-1, L. 542-12, L. 592-27, L.593-7 et L. 593-8 ainsi que D. 542-90 à D. 542-92 ;

Vu la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs codifiée ;

Vu la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs codifiée ;

Vu l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base ;

Vu le guide de sûreté n°1 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 12 février 2008 relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde ;

Vu l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1er février 2006 sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HAVL) menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, et en lien avec le PNGDR-MV ;

Vu l'avis n° 2010-AV-0084 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 5 janvier 2010 sur le dossier de l'agence nationale de gestion des déchets radioactifs (Andra) relatif à la proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation en surface pour un stockage réversible en formation géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2011-AV-129 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 26 juillet 2011 sur le dossier relatif au stockage réversible profond de déchets de haute et moyenne activité à vie longue déposé par l'Andra conformément à l'article 11 du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 ;

Vu l'avis n° 2013-AV-0179 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 mai 2013 sur les documents produits par l'Andra depuis 2009 relatifs au projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2016-AV-0256 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 9 février 2016 sur les études relatives à l'évaluation du caractère valorisable des matières radioactives remises en application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu l'avis n° 2016-AV-0259 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 25 février 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de haute et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL) remises en application

1/24

3/27

4

PROJET

du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu l'avis n° 2016-AV-264 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 mars 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu l'avis n° 2016-AV-0267 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 31 mai 2016 relatif à la réversibilité du stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2018-AV-300 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 janvier 2018 relatif au dossier d'options de sûreté présenté par l'Andra pour le projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2020-AV-0369 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1er décembre 2020 sur les études concernant la gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL), remises en application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018, en vue de l'élaboration du cinquième plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs ;

Vu la lettre ASN CODEP-DRC-2015-004834 du 7 avril 2015 relative au dossier « maîtrise des risques en exploitation » ;

Vu la lettre ASN CODEP-DRC-2016-005220 du 20 juin 2016 relative au dossier « plan de développement des composants du projet Cigéo » ;

Vu la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base Cigéo déposée par l'Andra le 16 janvier 2023 auprès de la ministre de la transition énergétique ;

Vu la saisine du ministère de la transition énergétique référencée DGPR/SRT/MSNR/BF/2023-040 du 28 mars 2023 ;

Vu la saisine de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire par l'Autorité de sûreté nucléaire référencée CODEP-DRC-2023-030596 du 7 juin 2023 ;

Vu les saisines du groupe permanents d'experts pour les déchets par l'Autorité de sûreté nucléaire référencées CODEP-DRC-2024-010770 du 8 mars 2024 et CODEP-DRC-2024-017460 du 4 novembre 2024 ;

Vu la saisine du groupe permanents d'experts pour les déchets par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection référencée CODEP-DRC-2025-022314 du 13 mai 2025 ;

Vu l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire n° 2024-00051 du 12 avril 2024 portant sur l'évaluation des données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo ;

Vu l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire n° 2024-00167 du 29 novembre 2024 portant sur l'évaluation de la sûreté en exploitation de Cigéo ;

Vu l'avis de la direction de la recherche et de l'expertise en environnement de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection 2025-00056 du 6 juin 2025 portant sur la sûreté en après-fermeture de Cigéo ;

Vu l'avis et les recommandations du groupe permanent d'experts pour les déchets, relatifs au dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, établis à l'issue des réunions des 24 et 25 avril 2024, 10 et 11 décembre 2024 et 25 et 26 juin 2025 ;

Vu les lettres présentant les engagements de l'Andra référencées DG-24-0123 du 7 mars 2024, CG-AMOA-LET-24-0033 du 18 novembre 2024 et CG-AMOA-LET-25-0007 du 28 mai 2025 ;

Vu le document relatif aux « Objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote - Volet technique » remis par l'Andra au titre de l'article 36 de l'arrêté du 9 décembre 2022 susvisé,

Considérant ce qui suit :

- La gestion des déchets radioactifs est un enjeu de sûreté nucléaire et de radioprotection qui doit être envisagé sur le très long terme, et il est nécessaire que l'ensemble de ces déchets dispose d'une filière de gestion sûre.
- Le dossier de demande d'autorisation de création du centre de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde Cigéo, déposé par l'Andra, est l'aboutissement d'un processus de développement de plusieurs décennies, s'étant déroulé par étapes, tel que recommandé par le guide de sûreté n° 1 de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) susvisé. Il fait notamment suite à un ensemble d'études techniques sur lesquelles l'ASN s'est prononcée par les avis susvisés et au dossier d'options de sûreté déposé par l'Andra en 2016, sur lequel l'ASN a rendu l'avis n° 2018-AV-0300 susvisé.
- Le présent avis est rendu conformément aux dispositions de l'article L. 542-10-1 du code susvisé, à l'issue de la phase d'instruction technique du dossier de demande d'autorisation de création qui s'est tenue entre mai 2023 et juin 2025.
- Les saisines susvisées de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) puis du groupe permanent d'experts pour les déchets par l'ASN puis l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) ont fait l'objet de concertation avec les parties prenantes en vue de recueillir leurs préoccupations et d'en tenir compte dans le cadre de l'instruction technique.
- L'expertise réalisée par l'IRSN puis l'ASNR a fait l'objet d'un dialogue technique avec des représentants de la société civile dans le cadre d'une démarche d'ouverture à la société portée par l'IRSN puis l'ASNR, le Comité local d'information et de suivi (CLIS) du laboratoire de Bure et l'Association Nationale des Comités et Commissions Locales d'Information (Anccli).
- Le présent avis a fait l'objet d'une consultation des parties prenantes engagées dans les concertations et le dialogue technique susmentionnés du 3 octobre au 6 novembre 2025.
- Cet avis, qui synthétise la position de l'ASNR à l'issue de l'instruction technique du dossier de demande déposé par l'Andra, sera présenté à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques conformément aux dispositions de l'article L. 542-10-1 susvisé. L'ASNR considère qu'il a également vocation à éclairer les parties prenantes et le public qui seront amenés à s'exprimer dans le cadre de la procédure d'autorisation au titre des consultations prévue par ce même article, et de l'enquête publique prévue par l'article L. 593-8 susvisé.
- L'ASNR se prononce sur les questions relatives à la sûreté nucléaire et à la protection des personnes et de l'environnement que présente le projet de stockage géologique Cigéo, pour chacune des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive et la phase de long terme ; à cet égard, le présent avis porte sur la qualité technique du dossier de demande d'autorisation de création et les éléments de réponse apportés dans le cadre de son instruction technique. Il s'appuie sur les expertises réalisées par l'IRSN puis par la direction de la recherche et de l'expertise en environnement de l'ASNR ainsi que sur les trois avis susvisés remis par le groupe permanent d'experts pour les déchets ;
- A l'issue de la procédure d'instruction de la demande d'autorisation de création de Cigéo et si celle-ci se conclut favorablement, l'ASNR sera chargée d'édicter les prescriptions techniques prises en application du décret d'autorisation de création de l'INB Cigéo ; à cet égard, le présent

avis identifie les principaux sujets susceptibles de faire l'objet de telles prescriptions, et les échéances correspondantes, au regard des enjeux identifiés dans le cadre de l'instruction technique du dossier. C'est notamment le cas de certains compléments spécifiques qui seront appelés préalablement au franchissement de jalons clés du projet au cours de la construction et jusqu'à la mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote.

Rend l'avis suivant :

Concernant la qualité technique du dossier

Considérant que l'instruction technique de la demande d'autorisation de création de Cigéo a mis en lumière les points suivants :

- L'Andra a acquis un socle de connaissances suffisant relatif à la formation hôte constituée par la couche argileuse du Callovo-Oxfordien (COx) et aux matériaux ouvragés, pour démontrer au stade de la demande d'autorisation de création, la sûreté de l'installation Cigéo durant son exploitation et après sa fermeture définitive.
- L'inventaire de référence retenu par l'Andra, rappelé ci-dessous, comprend 19 familles de colis de déchets de haute activité (HA) et 80 familles de colis de déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL).
- La démarche de sûreté en exploitation et en après fermeture retenue par l'Andra est satisfaisante sur le plan des principes.
- Certains points de la démonstration de sûreté nécessitent des compléments, détaillés dans la suite du présent avis.
- Le système de stockage, dans l'architecture retenue à ce stade, présente une bonne capacité de confinement en après-fermeture, et est robuste vis-à-vis des événements perturbateurs considérés et des incertitudes identifiées.

Considérant par ailleurs que :

- L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé dispose que « *l'exploitation du centre débute par une phase industrielle pilote permettant de conforter le caractère réversible et la démonstration de sûreté de l'installation, notamment par un programme d'essais in situ* ».
- L'article D. 542-91 du code de l'environnement susvisé dispose que « *l'inventaire sur lequel l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs se fonde pour mener les études et recherches relatives à la conception du centre de stockage prévu à l'article L. 542-10-1 comprend, pour l'application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, un inventaire de référence et un inventaire de réserve. […] Le centre de stockage est conçu pour accueillir les déchets de l'inventaire de référence* ». A cet égard, l'Andra a retenu un inventaire de référence qui prend en compte les déchets existants et les déchets qui seront produits à l'avenir par les installations nucléaires existantes (comprenant les réacteurs de production d'électricité d'EDF dont l'EPR de Flamanville, les usines du cycle du combustible d'Orano, les installations de recherche du CEA…) ainsi que ceux qui seront produits par les installations nucléaires autorisées à fin 2016 en cours de construction ou de mise en service (ITER, réacteur expérimental Jules

Horowitz), jusqu'au terme prévisible de leur fonctionnement (hypothèse du scénario SR2[1] retenue), puis de leur démantèlement.

- L'inventaire de réserve vise à permettre la prise en compte d'éventuelles évolutions de stratégies industrielles ou de politique énergétique ainsi que les incertitudes liées notamment à la mise en place de nouvelles filières de gestion.
- L'Andra a apporté des éléments de réponse à l'ensemble des demandes et engagements pris dans le cadre des instructions antérieures au dépôt de la demande d'autorisation de création de Cigéo.
- Les compléments ou éléments de consolidation identifiés comme nécessaires à l'issue de l'expertise du dossier de demande d'autorisation de création ont pour le plus grand nombre fait l'objet d'engagements de l'Andra en vue des prochaines étapes du développement de Cigéo. En l'absence d'engagement, ils pourront faire l'objet de demandes particulières de l'ASNR.

L'ASNR estime que :

- **La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture, a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique.**
- **Les projections du projet de programmation pluriannuelle de l'énergie 2025-2035[2] (PPE 3) ne sont pas entièrement cohérentes avec le scénario prospectif (SR2) pris en compte pour l'établissement de l'inventaire de référence. Néanmoins, celui-ci constitue une base robuste pour définir l'inventaire des déchets autorisés à être stockés dans Cigéo. Cet inventaire devra être encadré par le décret d'autorisation de création.**
- **Des compléments et éléments de consolidation, sans que ceux-ci constituent des points rédhibitoires à la délivrance d'un décret d'autorisation de création, seront nécessaires à l'acquisition complète de la démonstration de sûreté pour certaines composantes du projet, dont certaines doivent pouvoir bénéficier de la phase industrielle pilote. Ils sont attendus à des stades ultérieurs de développement du projet.**

<u>Concernant la mise à jour du dossier support à la demande d'autorisation de création avant l'enquête publique</u>

L'ASNR note, qu'au cours de l'instruction, l'Andra s'est engagée à apporter les éléments suivants préalablement à l'enquête publique :

- la quantification pour les familles de colis primaires de l'inventaire de référence, des incertitudes, notamment en termes de conditionnement, pouvant impacter le nombre et le volume de colis primaires ;
- une feuille de route pour la réalisation d'études complémentaires relatives à la faisabilité du stockage du plutonium séparé et des rebuts de combustibles MOX ;

[1] Les différents scénarios (SR1, SR2, SNR...) sont décrits dans l'édition 2018 de l'Inventaire national établi par l'Andra. Les hypothèses structurantes retenues pour le scénario SR2 sont : la poursuite de la production électronucléaire, une durée de fonctionnement uniforme de 50 ans de l'ensemble des réacteurs, un renouvellement progressif des réacteurs du parc électronucléaire actuel par des réacteurs EPR puis par des réacteurs RNR qui pourraient constituer à terme la totalité d'un futur parc et le retraitement de la totalité des combustibles usés.

[2] Le projet de PPE3 rehausse l'objectif de disponibilité du parc existant et confirme le programme de nouvelles constructions de 6 réacteurs

- un programme d'études visant à consolider l'inventaire en substances toxiques chimiques à considérer pour l'étude d'impact de Cigéo, prenant en compte :
    - les substances chimiques fortement toxiques ou introduites en quantités importantes dans le stockage, issues des différents composants des colis primaires de déchets (déchets, matrices et contenants) ;
    - les formes physico-chimiques les plus probables et/ou toxiques de ces substances dans le stockage ;
    - une discrimination du niveau de confiance attribué aux données déclarées par les producteurs de déchets et de marges associées ;
- des compléments à l'évaluation quantitative de l'impact sanitaire et environnemental des rejets liquides de substances chimiques toxiques ;
- la contribution à la dose aux exutoires du ^{14}C présent sous forme gazeuse dans le stockage pendant le transitoire hydraulique-gaz pour justifier l'absence d'impact significatif ;
- la quantification pour le SEN et les SEA, les quotients de danger (QD) et excès de risque individuels (ERI) pour les substances toxiques chimiques présents à l'exutoire ;
- la justification du nombre, de la localisation et des objectifs de performance des scellements des galeries dans l'architecture à terminaison, et en particulier les évolutions depuis le DOS. Cette justification se fera au regard des fonctions à assurer par les scellements, notamment vis-à-vis du compartimentage dans les scénarios d'intrusion humaine involontaire.

L'ASNR estime que les engagements pris par l'Andra pour la mise à jour du dossier d'autorisation de création préalablement à l'enquête publique répondent aux attentes soulevées lors de l'instruction technique. En conséquence, le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo peut donner lieu à l'enquête publique prévue par l'article L. 593-8 du code de l'environnement.

<u>Concernant le développement du projet et les orientations pour l'encadrement réglementaire associé jusqu'à la mise en service limitée à la phase industrielle pilote</u>

Constatant que l'Andra retient désormais les principaux jalons suivant pour le développement de Cigéo :

- un début des travaux de terrassement prévu en 2028 ;
- un début des creusements des liaisons surface-fond à l'horizon 2035 ;
- la construction des bâtiments nucléaires à l'horizon 2040 ;
- le creusement des premiers alvéoles MA-VL à l'horizon 2040 puis des premiers alvéoles HA à l'horizon 2045 ;
- la mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote, à l'horizon 2050 ;
- une phase de démantèlement et de fermeture à l'horizon 2150.

Et considérant ce qui suit :

- La construction progressive de Cigéo s'appuie sur des jalons stratégiques, rappelés ci-avant, qui constituent des étapes clés à l'occasion desquelles des compléments d'information et de démonstration sont attendus.
- Après la délivrance du décret d'autorisation de création, le jalon réglementaire suivant prévu par la loi est la mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote, prévue à l'horizon 2050 ; il convient par conséquent de définir des jalons intermédiaires préalablement à ce premier rendez-vous législatif.

- L'instruction technique du dossier a permis de mettre en lumière plusieurs aspects du dossier devant être complétés ou développés. Ceux-ci concernent :
  - la présentation du programme de travaux à mener en phase industrielle pilote inactive (sans stockage de déchets radioactifs) et active (stockage de déchets radioactifs), fondé sur la justification des objectifs et critères de réussite ;
  - des compléments pour justifier la classification des scénarios incidentels et accidentels ;
  - des compléments relatifs à l'évaluation de la maîtrise du risque incendie ;
  - des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis du stockage en l'état des déchets bitumés ;
  - des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque d'explosion au cours des opérations de fermeture et après fermeture des alvéoles MA-VL ;
  - des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque d'explosion dans les alvéoles HA en phase d'exploitation;
  - une évaluation du scénario *What-if*[3] « discontinuité traversante », en tenant compte d'une discontinuité au sein du quartier de stockage HA et de l'ensemble des radionucléides mobiles et peu mobiles d'intérêt, dont les éléments transuraniens et leur filiation ;
  - la présentation d'une situation d'abandon du stockage pendant son fonctionnement. L'Andra identifiera, le cas échéant, les enseignements en ce qui concerne notamment les modalités d'une éventuelle fermeture préventive anticipée du stockage, permettant de limiter les conséquences de telles situations sur la sûreté à long-terme.
- L'Andra s'est engagée à prendre en compte la plupart des points cités ci-avant ; la liste et les échéances de réalisation de l'ensemble de ses engagements sont rappelés dans l'annexe de cet avis.

L'ASNR considère que :

- **Le calendrier de développement du projet apparait comme réaliste, à la lumière des éléments dont dispose l'Andra aujourd'hui.**
- **Dans l'hypothèse de la délivrance d'un décret d'autorisation de création de l'installation, la transmission de certains des compléments, mentionnés ci-dessus et précisés en annexe de cet avis, ainsi que les échéances associées, pourront faire l'objet de prescriptions techniques qu'elle édictera, en application des dispositions de l'article R. 593-38 du code de l'environnement, ou de points d'arrêt subordonnant à son accord l'engagement de certaines opérations, en application de ce même article.**
- **l'Andra devra transmettre une mise à jour de la version préliminaire du rapport du sûreté de l'installation au plus tard dix ans après la publication du décret d'autorisation de création. Cette mise à jour devra intégrer les éléments identifiés au cours de l'instruction relevant de cette échéance, ainsi que les avancées et le programme d'études associés à ceux relevant d'une échéance ultérieure.**

Enfin, l'ASNR maintiendra les actions de dialogue avec les parties prenantes concernées. Elle estime par ailleurs opportun que les actions de concertation avec le public soient poursuivies lors des principales étapes de développement du projet, et préalablement à la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote de Cigéo.

[3] Terminologie anglaise signifiant « Et si », retenue au niveau international et reprise au niveau national. Ces scénarios reposent sur des conjectures très improbables afin d'étudier la réaction et la robustesse du système de stockage.

Le présent avis sera publié au *Bulletin officiel* de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

Fait à Montrouge, le Date

Le collège de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

PROJET

Annexe

Conclusions techniques issues de l'instruction du dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo

Considérant ce qui suit :

- L'ASN a souhaité que l'expertise du dossier de demande soit organisée selon trois phases d'instruction : les données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo, la sûreté en phase d'exploitation des installations de surface et souterraine et la sûreté après fermeture.
- La phase industrielle pilote et le principe de réversibilité sont des spécificités de Cigéo définis par les dispositions de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé, et sont des sujets transverses qui ont été instruits dans chaque phase d'instruction.

L'IRSN a émis ses recommandations dans les avis n° 2024-00051 du 12 avril 2024 portant sur l'évaluation des données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo et n° 2024-00167 du 29 novembre 2024 portant sur l'évaluation de la sûreté en exploitation de Cigéo, puis la direction de la recherche et de l'expertise en environnement de l'ASNR dans son avis n° 2025-00056 du 6 juin 2025 portant sur la sûreté après fermeture.

Concernant les données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo

Connaissance du site de Meuse/Haute-Marne

Considérant ce qui suit :

- Depuis la remise du dossier d'options de sûreté en 2016, l'Andra a réalisé de nouvelles caractérisations hydrogéologiques et géotechniques en surface et subsurface, en particulier concernant les calcaires du Barrois au niveau de la zone « descenderie ».
- en 2010, l'ASN s'est prononcée sur le potentiel géothermique dans son avis 2010-AV-0084 susvisé dans lequel elle considère que « *le forage traversant le Trias réalisé au centre de la zone permet de confirmer l'absence de potentiel géothermique exploitable à son aplomb* » et en 2017 l'IRSN a rappelé, dans son rapport relatif au dossier d'options de sûreté de Cigéo que « *le secteur ne présente pas de caractère exceptionnel* » par rapport à d'autres secteurs sur le territoire français (dans les conditions technico-économiques du moment).
- Les niveaux d'aléas naturels susceptibles d'impacter Cigéo, relatifs à l'inondation, au vent et aux tornades ont été évalués par l'Andra de manière satisfaisante, mais sont susceptibles d'évoluer du fait du changement climatique.
- L'Andra a réuni des connaissances suffisantes pour évaluer la sûreté de Cigéo, au stade de la demande d'autorisation de création, concernant la tectonique du site, son contexte structural et son évolution géoprospective.
- Des structures profondes identifiées par méthode géophysique en 2010 dans le nord de la zone d'implantation de l'installation nécessitent la mise en œuvre d'un programme de reconnaissance de la formation hôte au droit de ces structures afin d'adapter, si besoin, la conception de l'installation souterraine.
- L'Andra s'est engagée à apporter, avant le début des travaux de terrassement prévus en 2028, les résultats des investigations et études complémentaires qui auront été mises en œuvre pour compléter la caractérisation des calcaires du Barrois.

L'ASNR estime que :

- L'Andra a acquis une base de connaissances relatives au site de Meuse/Haute-Marne et à la formation du Callovo-Oxfordien suffisante pour évaluer la sûreté de Cigéo au stade de la demande d'autorisation de création.
- L'absence de ressources naturelles d'intérêt particulier ou exceptionnel au droit du site a été démontrée.
- L'Andra devra tenir compte du changement climatique en termes de définition des niveaux d'aléas susceptibles d'évoluer et de capacité à modifier l'installation pour y faire face.
- L'estimation des valeurs extrêmes de température et de neige devra tenir compte de données issues de périodes de retour plus importantes ainsi que de données issues de davantage de stations de mesures représentatives des conditions du site.
- L'Andra devra poursuivre ses efforts pour intégrer les situations d'évolution climatique perturbée dans les scénarios d'évolution géoprospective du site.
- L'Andra devra mettre en œuvre un programme de reconnaissance du Callovo-Oxfordien dans le nord de la Zone d'implantation des ouvrages souterrains (localisation des quartiers de stockage HA) à l'aplomb des structures nord-sud identifiées dans le Trias en vue de qualifier l'impact éventuel de ces structures sur les propriétés du Callovo- Oxfordien.
- Ce programme devra avoir abouti au plus tard avant le début du creusement des galeries de liaison desservant le quartier de stockage HA. L'Andra devra justifier, au plus tard lors de la remise du bilan de la phase industrielle pilote, les dispositions qu'elle prendrait en cas d'impact supposé ou avéré de ces structures.

<u>Propriétés et évolution des composants du stockage</u>

Considérant ce qui suit :

- L'état des connaissances développées par l'Andra concernant les perturbations géomécaniques et thermo-hydromécaniques dues à l'implantation de l'installation de stockage est satisfaisant.
- La modélisation du transitoire hydraulique-gaz, améliorée depuis le dossier d'options de sûreté, conduit, dans le cas d'hypothèses très pénalisantes, à des valeurs proches du seuil de fracturation « en grand » de la couche du Callovo-Oxfordien.
- La conception des scellements, encore à un stade préliminaire, ne permet pas d'apporter la démonstration de leurs performances, visant d'une part à limiter la circulation de l'eau dans le stockage et d'autre part à garantir une perméabilité au gaz suffisante. L'Andra prévoit la mise en place de démonstrateurs de scellements de descenderie et de galerie, dès le début de la construction de Cigéo, visant à démontrer l'opérationnalité des concepts retenus et à disposer d'une première évaluation de la performance hydraulique des scellements.
- La première formulation du matériau cimentaire destiné à remplir l'espace annulaire entre la roche et le chemisage des alvéoles « haute activité » présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création induisant des vitesses de corrosion significatives, l'Andra développe un programme visant à l'élaboration d'autres formulations, mais dont l'avancement reste à ce stade encore limité. Les données disponibles pour justifier le dimensionnement des composants métalliques de l'alvéole HA restent ainsi marquées par des incertitudes importantes, ce qui constitue un point d'attention pour statuer sur la pertinence de leur dimensionnement tel que retenu à ce stade.
- La méthode de creusement des puits d'accès à l'installation souterraine constitue un point de vigilance particulier compte tenu de l'importance de la mise en place des scellements pour la sûreté après-fermeture.

L'ASNR estime que :

- L'Andra a acquis une base de connaissances relatives aux composants du système de stockage suffisante pour évaluer la sûreté de Cigéo au stade de la demande d'autorisation de création.
- En sus de la poursuite la validation du modèle numérique du transitoire hydraulique-gaz en précisant ses différentes incertitudes, une exigence relative à la pression maximale de gaz à ne pas dépasser dans le stockage devra être définie. Elle devra respecter une marge par rapport au seuil de fracturation de la roche et fera l'objet de vérifications *in situ* au fur et à mesure de la construction.
- Les résultats des programmes de recherche associés à la mise en place de démonstrateurs de scellements de descenderie et de galerie devront être intégrés au bilan de la phase industrielle pilote, afin de consolider le concept de référence complet de chaque type de scellement, associé aux puits, descenderies et galeries.
- Le dimensionnement des composants métalliques de l'alvéole HA devra être justifié au regard des résultats du programme relatif à la corrosion de ces composants en présence du matériau de remplissage de l'espace annulaire.
- L'Andra devra présenter, avant le creusement des puits, la méthode de creusement retenue afin de minimiser l'endommagement de la roche, au moins localement au droit des futures zones à sceller.

Inventaires des colis de déchets prévus d'être stockés dans Cigéo

Considérant ce qui suit :

- Les familles de colis primaires des inventaires de référence et de réserve sont identifiées de façon adéquate et cohérente avec les scénarios industriels prospectifs retenus par l'Andra.
- Bien que les données présentées concernant les colis constituant l'inventaire de référence (caractéristiques radiologiques, chimiques et physiques) ainsi que la démarche d'élaboration des spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires soient globalement satisfaisantes pour concevoir l'installation et en évaluer la sûreté, des incertitudes subsistent à ce sujet.
- Les données présentées pour l'inventaire de réserve apparaissent comme globalement suffisantes pour fonder les études d'adaptabilité de Cigéo aux scénarios industriels prospectifs retenus et, le cas échéant, au stockage des déchets FA-VL.
- Concernant l'impact des évolutions possibles de la politique énergétique française sur l'adaptabilité de Cigéo en termes d'emprise du stockage, selon les scénarios étudiés (stockage de l'inventaire de réserve, prolongation de l'exploitation des réacteurs de 50 à 60 ans, construction de six réacteurs EPR2), les limites actuelles de la zone d'implantation des ouvrages souterrains pourraient être dépassées, tout en restant dans la zone de transposition pour laquelle la possibilité d'implanter un stockage a été établie.

L'ASNR estime que :

- L'Andra a acquis une base de connaissances relatives aux colis de déchets à stocker suffisante pour évaluer la sûreté de Cigéo au stade de la demande d'autorisation de création.
- Les incertitudes subsistant concernant notamment les volumes de colis primaires de déchets dont le conditionnement reste à définir, leurs modes de stockage, la prise en compte des déchets issus du traitement des combustibles usés de type MOX ou issus de réacteurs de recherche et les dates de réception des derniers colis dans l'installation devront être accommodées par le caractère flexible de l'installation.
- L'adaptabilité de Cigéo au stockage de l'inventaire de réserve présenté par l'Andra n'est pas remise en cause par les connaissances actuelles relatives à la géologie, y compris si cet inventaire de réserve était augmenté des déchets produits du fait de la prolongation de

l'exploitation de l'ensemble des réacteurs actuels de 50 à 60 ans et de la construction de six réacteurs de type EPR2.

- L'adaptation de l'installation dans la durée à d'autres évolutions possibles que celles retenues actuellement dans l'inventaire de réserve (prolongation de l'exploitation des réacteurs au-delà de 60 ans, construction de réacteurs EPR2 supplémentaires ou de petits réacteurs modulaires) devra être évaluée sur la base de nouvelles études d'adaptabilité à des horizons temporels qui pourront être définis lorsque les décisions afférentes à ce futur parc auront été prises.

PROJET

Concernant l'évaluation de la sûreté en phase d'exploitation des installations de surface et souterraine

Démarche de sûreté et de radioprotection en exploitation

Considérant ce qui suit :

- La démarche de sûreté et de radioprotection retenue par l'Andra est fondée sur les fonctions de sûreté assignées à l'installation ainsi que la définition d'objectifs de protection des travailleurs et du public en vue de protéger la santé des personnes et l'environnement contre les risques liés à la dissémination de substances radioactives et de toxiques chimiques.
- L'Andra classe les situations accidentelles susceptibles de conduire à un risque radiologique selon leur caractère vraisemblable, soit dans le domaine de dimensionnement, soit dans le domaine d'extension de dimensionnement, soit en tant que situations exclues.
- La méthodologie utilisée pour définir les spécifications préliminaires d'acceptation des colis de déchets radioactifs a été jugée satisfaisante au stade du DOS et n'a pas évolué.
- L'Andra a établi une liste de contrôles « systématiques » qu'elle envisage de faire à réception des colis primaires et une liste préliminaire de contrôles à réaliser par échantillonnage, dits contrôles « hors flux », en cours de développement.
- La stratégie de surveillance a pour objectifs de s'assurer que l'installation reste dans le domaine de fonctionnement normal pendant son exploitation et de vérifier que les perturbations liées à la construction et à l'exploitation n'impactent pas les fonctions de sûreté après-fermeture. Celle-ci repose principalement sur différentes méthodes de mesure redondantes et complémentaires ainsi que, pour les alvéoles, à des mesures déportées dans des ouvrages témoins.

L'ASNR estime que :

- Les principes guidant la démarche de sûreté et de radioprotection, les fonctions de sûreté et les éléments importants pour la protection identifiés, ainsi que le cadre défini pour les situations du domaine de dimensionnement des installations de surface et souterraine, sont globalement satisfaisants.
- Dans la prochaine révision de la version préliminaire du rapport de sûreté, le classement de certaines situations accidentelles postulées relevant du domaine d'extension du dimensionnement devra être consolidé en objectivant le caractère peu vraisemblable des situations accidentelles de ce domaine ; l'absence de dispositions complémentaires raisonnablement applicables pour ces situations devra être justifiée.
- Bien qu'exclue actuellement, une situation de dissémination notable de substances radioactives au sein de l'installation souterraine devra être postulée dans la prochaine révision de la version préliminaire du rapport de sûreté pour permettre de tirer des enseignements en termes de dispositions de gestion accidentelle et post-accidentelle, à prendre à la construction, et qui seraient de nature à faciliter cette gestion.
- Les spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires définies par l'Andra en lien avec les producteurs de déchets sont globalement cohérentes avec l'évaluation de sûreté en exploitation. Néanmoins bien que des contrôles systématiques et « hors flux » soient prévus et devraient garantir la conformité d'un nombre important de colis à ces spécifications, la suffisance du nombre d'emplacements dans la zone dédiée à la gestion des colis non conformes dans l'installation devra être justifiée dans la prochaine révision de la version préliminaire du rapport de sûreté.
- Bien que la stratégie de surveillance et l'identification des paramètres à mesurer soient suffisantes au stade de la demande d'autorisation, l'Andra devra compléter la démonstration de faisabilité

des dispositions de surveillance au cours de la phase industrielle pilote et justifier, avant le creusement de ces ouvrages, la pertinence de la représentativité de la surveillance déportée en alvéoles témoins HA et MA-VL.

Concernant l'évaluation de sûreté en phase d'exploitation

Considérant ce qui suit :

- L'Andra a apporté des éléments de démonstration de la maîtrise des risques d'origine interne (inondation interne, manutention, perte d'auxiliaires et coactivité) suffisants pour ce stade de développement du projet.
- L'analyse de la maitrise du risque incendie nécessite d'être consolidée notamment sur le caractère enveloppe des agressions retenues. Les dispositions de compartimentage visant à limiter les conséquences d'un incendie dans l'installation souterraine et les dispositions liées à l'intervention en cas d'incendie dans l'installation souterraine afin de garantir une intervention rapide et efficace nécessitent d'être améliorées ou complétées.
- Les études relatives à l'évolution de l'atmosphère interne d'un alvéole MA-VL non ventilé lors de la phase de fermeture et aux conséquences d'une éventuelle explosion sont à un stade préliminaire.
- La faisabilité technique des dispositions de limitation des échanges gazeux avec la galerie d'accès ou de surveillance et pour l'inertage de l'atmosphère interne n'est pas démontrée pour la conception actuelle en vue de la maîtrise de l'atmosphère interne des alvéoles HA vis-à-vis de la maitrise du risque d'explosion.
- L'Andra a récemment engagé une évolution organisationnelle de l'agence liée au passage de la phase de conception à la phase industrielle de construction et de fonctionnement de Cigéo.

L'ASNR estime que :

- La démonstration de la maîtrise des risques de manutention (chute et collision) et de dissémination des substances radioactives dans les installations souterraines et de surface est étayée et les dispositions techniques envisagés sont conformes aux bonnes pratiques, ce qui est satisfaisant.
- La démarche d'évaluation de la maîtrise du risque incendie et les dispositions techniques associées devront être consolidées notamment concernant la justification du caractère enveloppe des agressions retenues, le compartimentage de l'installation souterraine et la capacité d'intervention en cas d'incendie dans cette dernière.
- La gestion de la ventilation lors des phases transitoires liées au déploiement de l'installation souterraine devra être précisée.
- La démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque « explosion » lors des opérations de fermeture de l'alvéole MA-VL, induisant un arrêt de la ventilation, et après sa fermeture ainsi que celle de l'alvéole HA en exploitation devra être complétée avant le début des travaux de creusement.
- L'organisation de l'Andra reste à être confortée pour maîtriser les risques liés à la gestion du projet Cigéo notamment sur la mise en œuvre le système de management intégré, la gestion des configurations, la gestion des ressources et des compétences, l'intégration des facteurs organisationnels et humains ainsi que la formalisation du retour d'expérience. La feuille de route que l'Andra s'est engagée à transmettre d'ici la fin de l'année 2025 devra bien identifier ces enjeux et les échéances de mise en œuvre. Un point d'étape sera attendu lors de la prochaine mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté.

Concernant le cas particulier du stockage en l'état des déchets bitumés

Considérant ce qui suit :

- Les colis de déchets bitumés représentent 18 % du nombre de colis de l'inventaire de référence de l'installation.
- Ces déchets n'ont pas vocation à être stockés dans Cigéo lors de la phase industrielle pilote.
- Les déchets bitumés font l'objet d'un programme de caractérisation, appelé Babylone, visant à améliorer les connaissances sur le comportement à long terme de ces déchets, porté par les producteurs de déchets et l'Andra, qui est suivi dans le cadre du PNGMDR.
- Les dispositions de conception spécifiques des conteneurs de stockage et des alvéoles dédiés à ces déchets et des scénarios « extrêmes » postulant l'emballement d'un colis stocké ont été présentées.
- Les scénarios « extrêmes » présentés par l'Andra n'intègrent pas suffisamment les connaissances phénoménologiques relatives au comportement des colis de déchets bitumés et leur caractère enveloppe n'est à ce stade pas démontré.
- Les délais de détection et d'intervention suite à une montée en température dans un colis de stockage ont fait l'objet d'évaluations préliminaires.

L'ASNR estime que :

- La démonstration de sûreté basée sur le respect du critère de température en peau de colis à 100°C est satisfaisante pour les scénarios de référence retenus.
- Toutefois, pour les scénarios extrêmes, la démonstration de sûreté du stockage en l'état des déchets bitumés n'est pas entièrement aboutie et nécessite des compléments. La stratégie de détection et d'intervention reste notamment à consolider et justifier sur la base de scénarios enveloppes.

Evaluation de l'impact sanitaire et environnemental en exploitation

Considérant ce qui suit :

- Le niveau de l'impact radiologique sanitaire et pour l'environnement en fonctionnement normal, évalué par l'Andra, basé notamment sur une identification des rejets, est très faible.
- L'évaluation de l'impact des rejets liquides de substances chimiques toxiques est fondée sur le respect par ces rejets des valeurs des normes de qualité environnementale.
- En situations incidentelles et accidentelles, les évaluations des conséquences radiologiques et chimiques pour les populations proches conduisent à des niveaux de conséquences respectant les objectifs de protection, ce qui est satisfaisant.

L'ASNR estime que :

- La méthode retenue pour évaluer l'impact radiologique en situations normale, incidentelle et accidentelle est globalement satisfaisante.
- Une évaluation quantitative de l'impact des rejets liquides de substances chimiques toxiques devra être réalisée, sur la base d'une estimation des concentrations rejetées dans l'environnement.

Concernant l'évaluation de la sûreté en phase après fermeture

Considérant ce qui suit :

- La démarche d'évaluation de la sûreté après fermeture retenue par l'Andra comprend une analyse des risques internes et externes ainsi que des incertitudes associées à l'évolution future des composants du stockage d'une part, et une évaluation de la capacité globale de confinement du stockage intégrant ces risques et incertitudes via des scénarios d'évolution du stockage d'autre part.
- L'Andra classe les scénarios d'évolution du stockage qu'elle retient selon leur vraisemblance :
  - le scénario d'évolution normale (SEN) ou "domaine d'évolution normale", qui correspond à l'évolution prévisible de l'installation et du milieu géologique,
  - des scénarios d'évolution altérée (SEA), associés à des événements incertains mais plausibles, qui visent à évaluer les conséquences de dysfonctionnements de composants pouvant entrainer une dégradation de leur performance ou la perte partielle d'une fonction de sûreté ;
  - des scénarios de type What-if ("Et si ?"), qui postulent des événements très peu plausibles afin de tester la robustesse du système de stockage
- L'Andra retient une exigence d'exclusion du risque de criticité afin de préserver la roche hôte. Pour ce faire, la démonstration repose sur la détermination des masses critiques[4] par colis de déchets en tenant compte des évolutions envisageables des colis et des alvéoles à long terme. Ces masses critiques sont supérieures aux masses de matière fissile admissibles dans l'installation et définies dans les spécifications d'acceptation, sauf pour un nombre très limité de colis qui feront l'objet d'une étude particulière.
- L'Andra retient le séisme maximum physiquement possible (SMPP) pour évaluer les effets sur le dimensionnement des ouvrages.
- Les évaluations du scénario d'évolution normale (SEN), en situation de « référence » et « enveloppe », montrent une large prédominance des transferts de la plupart des radionucléides, vers les encaissants, par diffusion via la formation géologique du COx, par rapport à la voie « ouvrage ». Les impacts sanitaires radiologiques restent inférieurs à l'objectif de protection (valeur repère de 0,25 mSv/an)
- Les scénarios de dysfonctionnement (scellements, conteneurs de déchets HA, effondrement d'alvéole) conduisent à des impacts sanitaires comparables à ceux du SEN, et ceux des scénarios plus pénalisants, faille non détectée ou intrusion humaine restent acceptables au regard des hypothèses très conservatrices et peu vraisemblables.
- L'Andra a pris l'engagement d'étudier un scénario d'abandon anticipé du stockage avant sa fermeture, en réponse à l'intérêt formulé dans le cadre du dialogue technique précité.
- En l'absence de comparaison étayée entre plusieurs options d'architecture selon des critères de sûreté en exploitation et en après fermeture, le caractère optimisé de l'architecture ne peut être établi à ce stade. L'architecture actuelle confère une importance accrue aux scellements, du fait de l'absence de mise à profit du positionnement hydraulique en aval du quartier de stockage MA-VL vis-à-vis des liaisons surface-fond.
- Le travail de préfiguration mené par l'Andra sur la préservation de la mémoire est satisfaisant à ce stade.

[4] La masse critique de matière fissile est la masse minimale de matière suffisant au déclenchement d'une réaction de fission nucléaire en chaîne

- S'agissant du stockage de l'inventaire de réserve, aucun point rédhibitoire n'a été identifié quant à la sûreté après fermeture, mais des efforts importants restent à fournir pour démontrer l'exclusion du risque de criticité à long terme pour les combustibles usés.

L'ASNR estime que :

- La démarche suivie par l'Andra pour évaluer la sûreté à long terme de l'installation est pertinente. Afin de dégager des marges par rapport aux objectifs de protection radiologique, la consolidation des connaissances, notamment sur la solubilité du sélénium ou sur les propriétés hydrauliques de la formation géologique du Cox doit être poursuivie.
- Le principe d'exclusion du risque de criticité pour l'inventaire de référence est satisfaisant mais pourra s'avérer délicat à démontrer. Aussi, le caractère raisonnablement enveloppe des modèles retenus d'évolution des composants devra être apporté pour conforter cette démonstration.
- Le caractère enveloppe du SMPP retenu devra être conforté, avant le début des creusements des liaisons surface-fond, vis-à-vis de séismes pouvant se produire entre 2 et 5 km de profondeur au droit de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) ou liés à l'hypothèse d'une origine tectonique des structures détectées dans le Trias situé en-dessous de la couche du COx, au droit du futur quartier HA.
- Le système de stockage, avec l'architecture retenue à ce stade, présente une bonne capacité de confinement y compris pour les scénarios très conservateurs, avec des impacts acceptables.
- Toutefois, s'agissant du scénario de « forage d'exploration abandonné et mal scellé » au niveau du stockage, il sera nécessaire d'évaluer le conservatisme de l'évaluation d'impact associée en traitant la situation de « référence » en plus de celle dite « enveloppe » afin de dégager les gains potentiels, en matière d'impact sanitaire radiologique, liés à des compartimentages supplémentaires des galerie. A cet égard, des justifications complémentaires sur le nombre, la localisation et la performance des scellements reste à fournir pour compléter la démonstration de la robustesse de l'architecture du système de stockage retenue.
- Les travaux engagés sur la mémoire devront être poursuivis et approfondis en phase ultérieure.
- Des efforts significatifs restent attendus pour démontrer de manière robuste l'exclusion du risque de criticité à long terme pour les combustibles usés de l'inventaire de réserve, en tenant compte des cumuls de dégradations dans la durée affectant la géométrie des combustibles usés.

PROJET

Sujets transverses à l'examen de la demande d'autorisation de création de Cigéo

Concernant les composantes du principe de réversibilité

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

Progressivité de la construction

Considérant ce qui suit :

- Le PNGMDR 2022-2026 définit la progressivité comme la « *construction de bâtiments, d'une nouvelle tranche ou de nouveaux types d'alvéoles de stockage [et la] montée en puissance progressive de l'exploitation durant la [phase industrielle pilote]* » ;
- A l'issue de l'instruction technique, l'Andra s'est engagée à notamment apporter les compléments suivants aux stades successifs de construction de l'installation :

Avant le début des travaux de terrassement prévus en 2028 :

- les résultats des investigations géotechniques prévues sur la zone puits, dans les 12 mois qui suivent la fin de ces investigations ;

Avant le début des creusements des liaisons surface-fond :

- l'ensemble des paramètres-clés associés à chaque « composant important pour la protection » (CIP) et, s'agissant du CIP « Callovo-Oxfordien », les dispositions permettant de caractériser l'état initial avant et après creusement ;
- la possibilité de concilier les flux relatifs aux activités nucléaires et ceux relatifs aux activités de fermeture sans impact sur la maîtrise des risques ;
- une évaluation de l'évolution de la performance des bétons du génie civil dans le temps, basée notamment sur les résultats de l'approche performancielle, en vue d'une potentielle extension de durée de vie du projet et une modification en conséquence, si besoin, des dispositions constructives des ouvrages concernés.

Avant la construction des bâtiments nucléaires à l'horizon 2040 :

- les résultats des investigations complémentaires, au niveau des plateformes devant recevoir le bâtiment EP1 et la tête de la descenderie des colis ainsi que, en fonction des enjeux de sûreté, au droit des infrastructures associées aux puits, en vue de prévenir l'instabilité de ces ouvrages,
- les compléments et justifications attendus en vue de compléter la démonstration de la maîtrise du risque incendie dans le bâtiment EP1,
- les études de sensibilité pour le comportement des structures et études de non-perforation,

- les compléments à l'évaluation de la maîtrise du risque d'inondation par les pluies locales (dispositions de limitation d'accumulation d'eau à certains endroits, justification des valeurs de coefficient de rugosité, mise à jour des modélisations de réseau pluvial et de ruissellement),
- les compléments et justifications attendus en vue de compléter la démonstration de sûreté au regard du risque de la chute d'avion,
- la prise en compte des données les plus récentes sur l'aléa « neige et vent » ainsi que le risque foudre ;

Avant le creusement des premiers alvéoles MA-VL et HA, prévu entre 2040 et 2045 :

- la définition d'une exigence relative à la pression maximale de gaz à ne pas dépasser dans le stockage, qui tienne compte d'une marge par rapport au seuil de fracturation « en grand » du Callovo-Oxfordien,
- un programme de caractérisation de l'état de contrainte in situ et corrélativement de tenue à la fracturation sous chargement fluide, au fur et à mesure de la construction de l'installation souterraine, afin de vérifier le respect de l'exigence de pression maximale de gaz,
- la méthodologie de mesure de pression retenue, en vue d'une mise en œuvre opérationnelle,
- la stratégie de surveillance déportée en alvéole témoin MA-VL, en précisant les paramètres effectivement suivis du domaine de fonctionnement normal et les dispositions de surveillance qui seront in fine retenus dans cet alvéole,
- les résultats du programme de démonstrateurs d'alvéole HA et les compléments associés à la démonstration de sûreté des colis HA.

En cohérence avec la temporalité de réalisation des ouvrages concernés :

- les dispositions de surveillance relatives aux paramètres-clés associés aux CIP.

L'ASNR considère que certains des éléments mentionnés ci-dessus pourront être transmis dans le cadre de prescriptions techniques subordonnant à son accord la réalisation des opérations concernées.

Adaptabilité des installations

Considérant ce qui suit :

- L'article D. 542-91 du code de l'environnement susvisé prévoit que « […] *l'inventaire de réserve prend en compte les incertitudes liées notamment à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets ou à des évolutions de politique énergétique. […]. [Cigéo] est également conçu pour être en mesure d'accueillir les substances qui figurent à l'inventaire de réserve, sous réserve le cas échéant d'évolutions dans sa conception pouvant être mises en œuvre en cours d'exploitation à un coût économiquement acceptable* » et l'article D. 542-92 précise que « *s'ils ne figurent pas dans l'inventaire de référence, les combustibles usés issus de l'exploitation des réacteurs électronucléaires, des réacteurs expérimentaux et de la propulsion nucléaire navale sont intégrés dans l'inventaire de réserve.* »
- De plus, le PNGMDR 2022-2026 rappelle que la décision a été prise « *d'intégrer dans la conception de Cigéo des dispositions permettant d'éventuelles adaptations ultérieures pour y stocker une partie des substances radioactives actuellement considérées comme des matières, et non comme des déchets, comme par exemple les combustibles usés.* »
- Dans son avis relatif au dossier d'option de sureté susvisé, l'ASN considérait que l'Andra devait « *justifier qu'il n'y a pas d'élément rédhibitoire au stockage de [l'] inventaire de réserve* » et «

permettre d'avoir la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté pourra, le cas échéant, être confirmée »

- Les études d'adaptabilité de Cigéo présentées dans le dossier de demande déposé par l'Andra s'appuient sur un inventaire de réserve, intégrant :
  - des colis HA et MA-VL induits par l'allongement de la durée de fonctionnement à 60 ans d'une partie des réacteurs nucléaires du parc actuel (scénario SR1[5]) ;
  - les combustibles usés non recyclés (scénario SNR enveloppe) détenus par EDF et le CEA ;
  - des colis de déchets FA-VL (principalement des déchets de graphite, des déchets issus du traitement de combustibles UNGG et des déchets bitumés) pour intégrer les incertitudes liées à la mise en place d'une filière de gestion dédiée aux déchets FA-VL.
- L'évolution de la politique énergétique de la France et les décisions associées ont conduit l'Andra à faire évoluer l'inventaire de réserve pour la mise à jour de son dossier de demande d'autorisation de création en amont de l'enquête publique, en y intégrant :
  - un allongement à 60 ans de la durée de fonctionnement de l'ensemble des réacteurs du parc électronucléaire actuel ;
  - les déchets issus du déploiement de six nouveaux réacteurs EPR2 et une durée de leur fonctionnement également de 60 ans.
- Les principes de conception pour le stockage éventuel des combustibles usés et des déchets FA-VL de l'inventaire de réserve sont similaires à ceux prévus respectivement pour les déchets HA et MA-VL.
- Le stockage des déchets de l'inventaire de réserve conduirait à un allongement de la durée de fonctionnement de Cigéo, avec pour enjeu principal la durabilité des ouvrages de génie civil.

L'ASNR estime que :

- La possibilité du stockage des déchets de l'inventaire de réserve ne présente pas de point rédhibitoire au regard de la sûreté en exploitation à ce stade des études, compte tenu notamment des dispositions similaires à celles retenues pour le stockage des déchets HA et MA-VL de l'inventaire de référence.
- La maîtrise des risques de criticité et de pyrophoricité en exploitation pour le stockage éventuel des combustibles usés, la gestion de la ventilation ainsi que les moyens d'intervention en situation d'incendie nécessiteront des compléments dans les prochaines mises à jour des études d'adaptabilité.
- Les travaux menés par l'Andra sur le comportement mécanique des ouvrages souterrains sont de nature à assurer des performances des bétons sur des durées supérieures à celles associées aux normes prescriptives existantes et compatibles avec une perspective d'augmentation de la durée d'exploitation.
- L'adaptabilité de l'installation dans la durée à d'autres évolutions possibles que celles retenues actuellement dans l'inventaire de réserve (prolongation de l'exploitation des réacteurs au-delà de 60 ans, exploitation de huit réacteurs EPR2 supplémentaires, de réacteurs de type SMR ...) devra faire l'objet d'une démonstration et d'un examen dédié lorsque les décisions afférentes à ces installations auront le cas échéant été prises. Dans le cas où il serait envisagé de stocker d'autres déchets que ceux de l'inventaire de référence, une démonstration de sûreté associée devra être apportée.

[5] Les différents scénarios (SR1, SR2, SNR...) sont décrits dans l'édition 2018 de l'Inventaire national établi par l'Andra

Flexibilité de l'exploitation

Considérant ce qui suit :

- La flexibilité s'entend comme la capacité à gérer des variations liées à l'inventaire à être stocké, aux chroniques de livraison ou aux stratégies de fermeture, ainsi qu'à intégrer des évolutions de connaissances, de technologies ou plus généralement de modalités d'exploitation.
- Certaines incertitudes relatives à l'inventaire de référence demeurent, en particulier le nombre, le volume, le mode de stockage de certains colis primaire de l'inventaire de référence dont le conditionnement reste à définir.

L'ASNR estime qu'afin de garantir une gestion sûre de l'ensemble des déchets de l'inventaire de référence, la flexibilité devra être déclinée par l'Andra en dispositions organisationnelles et matérielles concrètes, garantissant la maîtrise des risques en exploitation et l'absence d'incidence sur la sûreté après fermeture de l'installation.

Récupérabilité des colis

Considérant ce qui suit :

- Les scénarios étudiés par l'Andra forment un ensemble qui constitue une avancée au regard des précédents dossiers. La conception des dispositions prises a progressé et ces dispositions feront l'objet d'un programme d'essais en phase industrielle pilote.
- L'Andra retient deux types de scénarios impliquant la mise en œuvre de retrait de colis : les « retraits d'exploitation », qui font partie de l'exploitation courante de Cigéo, et les « retraits hypothétiques », étudiés au titre de la gestion de situations post-accidentelles ou de la réversibilité.
- Les dispositions de récupérabilité feront l'objet d'essais au cours de la phase industrielle pilote.

L'ASNR estime que :

- Les travaux relatifs à la corrosion des composants métalliques des alvéoles HA, qui font l'objet d'un programme d'étude développé par l'Andra, devront être intégrées dans la démonstration de sûreté concernant le retrait des colis.
- La démonstration de la maîtrise du risque d'explosion les alvéoles MA-VL en cours de fermeture et une fois fermés ainsi que dans les alvéoles HA, mentionné ci-avant, devra être acquise en vue de garantir la sûreté des opérations de retrait des colis.

<u>Concernant la phase industrielle pilote</u>

Considérant ce qui suit :

- L'Andra propose que la phase industrielle pilote débute dès l'obtention du décret d'autorisation et comprenne la période de construction de l'installation, la réalisation d'essais en « inactif » suivi d'une période d'essais de démarrage et une période de stockage de colis de déchets radioactifs d'environ 5 ans.
- L'Andra a prévu de stocker durant la phase industrielle pilote 6 types de colis MA-VL et 3 types de colis HA peu exothermiques et n'exclut pas, en fonction de la durée de la phase pilote et des besoins identifiés, de stocker d'autres types de colis.

- La configuration spatiale de l'installation construite puis exploitée pendant la phase industrielle pilote comprend : les ouvrages de liaison surface-fond (puits et descenderies), le quartier MA-VL composé d'une « boucle » et de 4 premiers alvéoles, un quartier pilote HA représentatif du futur quartier de stockage HA, les zones de soutien logistique, ainsi que les démonstrateurs de scellements, composants essentiels à la sûreté en après fermeture. L'ensemble des formations géologiques sus-jacentes à la couche du Callovo-Oxfordien sont traversées par les puits et descenderies. Les installations en profondeur couvrent, au sein de la couche du Callovo-Oxfordien, une superficie de quelques km^2, soit environ 20 % de la superficie de l'installation à terminaison.
- L'Andra a transmis, en réponse à l'action HAMA-VL 6 du 5ème Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR), une proposition d'objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote, qui vise notamment à :
    - préparer les installations et ouvrages pour permettre leur exploitation,
    - prendre en main progressivement l'exploitation et consolider l'organisation de l'exploitation nucléaire,
    - déployer progressivement la surveillance,
    - conforter *in situ*, dans les conditions réelles d'environnement, de construction et de fonctionnement industriel de Cigéo, les données utilisées pour sa conception et pour sa démonstration de sûreté,
    - conforter le fonctionnement phénoménologique du stockage et du milieu géologique environnant en :
        - confortant le comportement des ouvrages souterrains et de la formation du COx au regard du maintien de leurs fonctionnalités ;
        - préparant la fermeture de l'installation souterraine ;
    - conforter la réversibilité de l'INB Cigéo en :
        - apportant un retour d'expérience pour le déploiement progressif ;
        - testant la flexibilité de l'exploitation ;
        - contrôlant la réalisation des dispositions conservatoires vis-à-vis de l'adaptabilité ;
        - réalisant des essais de récupérabilité.
- L'échéance de mise en service de l'installation limité à la phase industrielle pilote, initialement envisagée en 2035 par l'Andra étant désormais prévue en 2050, ceci devrait permettre à l'Andra d'acquérir un ensemble de résultats suffisant pour faire aboutir les composantes de la démonstration de sûreté le nécessitant.
- La stratégie de surveillance de l'installation souterraine définie par l'Andra s'appuie sur des mesures dans des alvéoles témoins et la surveillance de paramètres-clés. Toutefois, les dispositions dédiées à cette surveillance et la représentativité des mesures déportées demandent encore une attention particulière.

L'ASNR estime que :

- Les objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote proposés par l'Andra, bien que satisfaisants sur le plan général, restent préliminaires et devront être précisés au regard des besoins de compléments et de consolidation de la démonstration de sûreté présentés dans cet avis.
- L'Andra devra établir, dès le début des creusements, un programme de travail à mener lors de la phase industrielle pilote (en inactif et en actif), fondé sur la justification des objectifs et critères de réussite discutés dans le cadre du PNGMDR.

- Le nombre de colis à stocker durant la phase industrielle pilote ainsi que le rythme des opérations de stockage doivent être évalués sur la base du programme des essais en actif relatifs aux étapes du processus de mise en stockage et de retrait des colis.
- L'activité de stockage de déchets radioactifs doit se dérouler pendant une période suffisante dans le temps afin de permettre à l'Andra de prendre en main l'exploitation de l'installation. Le rapport de fin de phase industrielle pilote, prévu par l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé, couvrirait ainsi les résultats des travaux définis pour cette phase et les premiers retours issus des opérations de construction des premiers ouvrages et de stockage. Ce rapport pourrait intervenir concomitamment à la remise du rapport de fin d'essais de démarrage mentionné à l'article R. 593-34 du code de l'environnement.
- Les arrêts et redémarrages d'une installation nucléaire étant des phases sensibles en termes de sûreté et de maintien des compétences, la continuité de l'exploitation entre la fin de la phase industrielle pilote et la mise en service complète de l'installation représente un enjeu de sûreté dans l'exploitation de l'installation. Il conviendra en conséquence que les modalités préalables à la délivrance de l'autorisation de mise en service complète, prévues à l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé, soient anticipées et permettent une continuité d'exploitation, sous couvert de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote.

Mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté 10 ans après délivrance de l'autorisation, le cas échéant.

L'instruction de la demande d'autorisation a mis en lumière le besoin de justifications et de compléments au dossier. Outre les éléments identifiés en première partie de cet avis, l'Andra s'est notamment engagée à intégrer lors de la prochaine mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté :

- la justification de l'exclusion de scénarios au regard des dispositions de conception, de réalisation et d'exploitation retenues,
- la stratégie de qualification des éléments importants pour la protection (EIP) inaccessibles,
- les critères et les méthodes permettant de justifier la qualification des EIP au regard du respect de leurs exigences définies (ED),
- à l'analyse de sûreté-criticité : l'ensemble des hypothèses retenues pour établir la démonstration des masses de matière fissile admissibles et leurs justifications ainsi que les modalités de contrôle associées,
- pour les colis primaires pour lesquels les masses de matière fissile maximales évaluées par les producteurs de déchets et celles autorisées à Cigéo sont proches : la quantification des marges en situation anormale de dépassement des limites, en recourant si besoin à des hypothèses de modélisation aussi réalistes que possible en phase d'exploitation,
- la justification du classement du scénario d'incendie consécutif à une collision entre un engin de transfert de colis et un autre type de véhicule,
- la consolidation des scénarios d'emballement enveloppes en s'appuyant sur des considérations phénoménologiques de la réactivité des enrobés bitumés et du comportement des fûts d'enrobés sous sollicitation thermique ainsi que la consolidation de la stratégie de détection et d'intervention présentée dans le dossier de DAC et la justification de sa suffisance pour exclure la propagation d'un emballement de réactions exothermiques,
- la justification du respect des exigences de comportement assignées aux structures de génie civil des bâtiments nucléaires de surface constituant la dernière barrière de

confinement à l'égard des effets induits par la chute d'un avion suivie d'un incendie ; à défaut de justification de l'exigence de non-introduction de kérosène, la définition des charges calorifiques dont la combustion est à cumuler à celle du kérosène en cas de chute d'un avion,

- la justification de la résistance au feu des voussoirs ainsi que celle du revêtement, par une méthode à l'état de l'art applicable aux ouvrages souterrains, en tenant compte des risques d'éclatement du béton et sur une durée permettant le refroidissement des structures,
- le programme des travaux à réaliser en phase pilote « inactive » permettant de conforter la démonstration de sûreté,
- la consolidation de la démonstration de l'exclusion du risque de criticité en après-fermeture
- La consolidation de l'évaluation du scénario What-if « discontinuité traversante », en tenant compte d'une discontinuité au sein du quartier de stockage HA et de l'ensemble des radionucléides mobiles et peu mobiles d'intérêt, dont les éléments transuraniens et leur filiation,
- l'étude d'une situation d'abandon du stockage pendant son fonctionnement, reposant sur l'identification, le cas échéant, des enseignements notamment en ce qui concerne les modalités d'une éventuelle fermeture préventive anticipée du stockage, permettant de limiter les conséquences de telles situations sur la sûreté à long terme.

PROJET

Annexe 2 : Coordonnées des établissements pour consulter, sur rendez-vous, le dossier papier de la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo)

- **Préfecture de la Meuse**
  40, rue du Bourg
  CS 30 512
  55 012 Bar le Duc Cedex

  prise de rendez-vous par téléphone au 03.29.77.50.41 ou par mail à
  pref-instruction-cigeo@meuse.gouv.fr

- **Préfecture de la Haute-Marne**
  89, rue Victoire de la Marne
  CS 42 011
  52 011 Chaumont Cedex

  prise de rendez-vous par téléphone au 03.25.30.22.05 ou par mail à
  pref-coordination@haute-marne.gouv.fr

- **Andra**
  Centre de Meuse / Haute-Marne - Espace technologique
  BP9
  55290 Bure

  prise de rendez-vous par téléphone au 03.29.77.49.25 ou par mail à
  instructiondac.cigeo@andra.fr

27/27
28

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Préfecture de la Meuse
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-12-11(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: CA DE BAR LE DUC SUD MEUSE
N° de SIREN: 200033025
Numéro Acte de la collectivité locale: 2025_12_04_1
Objet acte: CIGEO - Demande d_avis concernant la demande d_autorisation de création d_un centre de stockage
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 8.4-Amenagement du territoire
Identifiant Acte: 055-200033025-20251210-2025_12_04_1-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.9 Avis de la communauté de communes des Portes de Meuse

Portes de Meuse

Extrait du registre des délibérations

L'an deux mille vingt-cinq, le deux décembre à **dix-huit heures trente**, le Conseil de la Communauté de Communes des Portes de Meuse dont la constitution a été autorisée par arrêté préfectoral n°2018-1545 en date du 28 juin 2018, légalement convoqué, s'est réuni, Auditorium Jean SALIN au siège de la Communauté de Communes situé au 1 rue de l'Abbaye à Montiers-sur-Saulx (55290) sous la présidence de Monsieur Michel LOISY.

Nombre de membres composant l'assemblée :	**67**	Nombre de membres présents :	**46**
Nombre de membres en exercice :	67	Nombre de pouvoirs :	**9**
Quorum :	34	Le quorum est atteint l'assemblée peut délibérer	

Etaient présents : **ANDRÉ** Philippe, **ANDRÉ** Jean-Claude, **BARTHELEMY** Graziella, **CARDON** Dominique, **CHALONS** Gérard, **CHEVALLIER** Marie-Laure, **COLLET** Jean-Marie, **DABIT** Pierre, **DUBAUX** Gilles, **DUFOUR** Roland, **DUPUIT** Catherine, **EDOT** Dany, **FOURNIER** Jean Noël, **FRANCOIS** Claude, **GROSJEAN** Didier, **HENRIONNET** Bernard, **HERPIERRE** Jean-Claude, **HUARDEL** Gilles, **JOSEPH** Martine, **KARP** Dominique, **KOST** Gérard, **LALLEMANT** Pascal, **LARCELET** Thierry, **LAURENT** Tatiana, **LEBRET** Edith, **LECLERC** Christian, **LEGRAND** Sébastien, **LEMAIRE** Jacky, **LEROUX** Francis, **LOISY** Michel, **LORIN** Bernadette, **MAGRON** Laurent, **MALAIZE** Philippe, **MATTIONI** Angelico, **MENETRIER** Didier, **PENSALFINI** Dominique, **PERRIN** Pascal, **PETERMANN** Fabrice, **PIOT** Jaël, **POISSON** Patrick, **RENAUDEAU** Daniel, **ROBERT** Julien, **THIRION** Francis, **VAN DE WALLE** Hervé, **VARNIER** Marie-Paule, et **VIOT** Loetitia.

Étaient excusés :	FOURNIER Sylvain, MOUROT Gilles, MULLER Serge, THIERY Didier, THIERY Patricia et VILLETTE Eric.
Excusés ayant donné procuration ou étant suppléés :	ANTOINE Gérard, suppléé par EDOT Dany. AUBRY Laurent, pouvoir à LECLERC Christian. BAYETTE Patricia, pouvoir à MATTIONI Angélico. BOUR Rémy, pouvoir à ANDRE Philippe. CANOVA Jean-Louis, pouvoir à FOURNIER Jean-Noël. CARRÉ François-Xavier, suppléé par PIOT Jaël. COLIN Francis, suppléé par BARTHELEMY Graziella. HOPFNER André, pouvoir à LEMAIRE Jacky. KENNEL Armin, pouvoir à FRANCOIS Claude. MAIZIERES Francis, pouvoir à LEROUX Francis. NICOLE Marc, suppléé par KOST Gérard. RENAUDIN Florent, pouvoir à LOISY Michel. THEVENIN Hélène, pouvoir à COLLET Jean-Marie.
Étaient absents	DAVIGNON Sandrine, DIOTISALVI Jean-Luc, DUPONT Régis, INTINS Yannick, MARQUELET Jean-Pierre et VEYLAND Samuel.

Assistaient également à la réunion :
DELRUE Loup (Médiateur culturel de la Micro Folie mobile des Portes de Meuse), **FLOUEST** Laurent (directeur Général Adjoint), **HUSSON** Thierry (Directeur Général des Services), et **NUNNE** Pauline (responsable service Administration et Finances).

Le Président ayant ouvert la séance, il a été procédé à l'élection d'un secrétaire désigné au sein du conseil, Monsieur LEROUX Francis, a été désigné pour remplir les fonctions de secrétaire, conformément à l'article L. 2121-15 du C.G.C.T.

Communauté de communes des Portes de Meuse
1 Rue de l'Abbaye - Ecurey - 55290 MONTIERS-SUR-SAULX | www.portesdemeuse.fr

REÇU EN PREFECTURE
le 08/12/2025
Application agréée E-legalite.com
99_DE-055-200066108-20251202-25_133B-DE

Communauté de communes Portes de Meuse

25/133. Avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO).

VU le courrier de Monsieur le Préfet de la Meuse du 6 octobre 2025 sollicitant l'avis du Conseil Communautaire concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO) et ses pièces annexes (annexe A2) ;

APRES AVIS réservé, compte-tenu des incertitudes entourant la future fiscalité liée à ce projet, de la Commission « Urbanisme - Développement économique - Cigéo » du 18 Novembre 2025 ;

APRES AVIS réservé, compte-tenu des incertitudes entourant la future fiscalité liée à ce projet à 14 voix POUR et 2 voix CONTRE (LEGRAND Sébastien et ROBERT Julien) du Bureau intercommunal du 25 novembre 2025 ;

LE CONSEIL DE COMMUNAUTÉ,

Par 5 voix « AVIS DEFAVORABLE » : KARP Dominique, LECLERC Christian, LEGRAND Sébastien, MAGRON Laurent et ROBERT Julien.

Et 5 voix « AVIS FAVORABLE » : ANDRÉ Jean-Claude, ANDRÉ Philippe, EDOT Dany, HUARDEL Gilles et LECLERC Christian pour son pouvoir AUBRY Laurent,

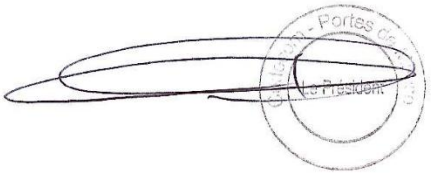
Et 45 voix « AVIS RESERVÉ »,

EMET un avis réservé à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO) et cela compte-tenu :

- de l'avis de l'ASNR qui comporte des éléments inquiétants pour la population locale ;
- de l'absence d'éléments permettant d'assurer la maîtrise de la réversibilité ;
- de l'absence d'éléments permettant d'assurer la transmission de la mémoire à très longue échéance quant à la dangerosité du site ;
- des impacts environnementaux insuffisamment pris en compte ;
- des incertitudes entourant la future fiscalité liée à ce projet.

Michel LOISY
Président

Convocations envoyées le 26 novembre 2025
CR des délibérations affiché le 3 décembre 2025



p. 2

REÇU EN PREFECTURE
le 08/12/2025
Application agréée E-legalite.com
99_DE-055-200066108-20251202-25_133B-DE

2.3.2.10 Avis du conseil départemental de la Meuse

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 01/12/2025 à 17h38
Référence de l'AR : 055-225500016-20251127-D25366H4250H1-DE

DEPARTEMENT DE LA MEUSE

COMMISSION PERMANENTE

du 27/11/2025

DELIBERATION

D25_11_CP_366

NATURE DE L'AFFAIRE

DEMANDE D'AVIS DECLARATION D'AUTORISATION DE CREATION (DAC) POUR LE PROJET CIGEO

DELIBERATION DEFINITIVE :

La Commission permanente,

Vu le rapport soumis à son examen et tendant à émettre une demande d'avis concernant la Déclaration d'Autorisation de Création pour le projet CIGEO,

Après en avoir délibéré,

Décide d'émettre un avis favorable au dossier de Demande d'Autorisation de Création de l'INB CIGEO**, en demandant que les exigences du Département de la Meuse sur les points suivants soient pleinement prises en compte :**

Habitat : Au-delà de la remobilisation des logements vacants, nécessité de favoriser la mise en place d'une palette d'offre de logements suffisamment souple et évolutive pour faciliter les parcours résidentiels,

Voirie, aménagements routiers et mobilité : l'ANDRA doit tenir compte de l'impact de l'augmentation du trafic routier à travers un accompagnement des communes les plus concernées. L'ANDRA doit s'impliquer dans la poursuite des réflexions autour du sujet important du ramassage des salariés et la mise en place de parkings relais,

Sécurité, sureté et secours : Nécessité absolue de prise en compte de la sureté des installations et impacts sur la sécurité des biens et des personnes, déploiement de moyens d'intervention et de lutte contre l'incendie avec un nécessaire rapprochement avec le SDIS de la Meuse afin que CIGEO puisse bénéficier d'une sécurité optimale assurée par des sapeurs-pompiers professionnels et sans incidence sur la contribution départementale versée au SDIS,

Développement d'entreprises et emplois : le Département attend une implication plus forte de l'ensemble de la filière électronucléaire et des retombées plus significatives au niveau local en matière d'emplois et de développement,

Accès aux soins : nécessité pour l'ANDRA de prise en compte de l'afflux de salariés supplémentaires sur l'offre de soins du territoire d'accueil de CIGEO,

Transition écologique : rappel de la nécessité de réduire les émissions de GES sur l'ensemble du chantier y compris son approvisionnement, avec une demande d'expérimentation de décarbonation de motrices diesel qui seront utilisées sur la ligne 027000.

Avenir des activités agricoles et agroalimentaires : en rappelant que ces activités représentent un enjeu fort pour le territoire, avec la demande d'associer le Département au comité de pilotage du Fonds de compensation agricole.

Délibération adoptée à la majorité des suffrages exprimés avec 8 voix contre et 3 abstentions.

Pour extrait conforme
Le Directeur Général des Services

Transmis le :

Publié et/ou notifié le :

Cédric MACRON

Le présent acte peut faire l'objet d'un recours auprès du Tribunal Administratif de Nancy, 5, Place de la Carrière- CO 20038 à 54036 NANCY Cedex dans un délai de deux mois à compter de sa publication et sa transmission aux services de l'État. Le tribunal administratif peut être saisi par l'application informatique « Télérecours citoyens » accessible par le site internet http://telerecours.fr

2.3.2.11 Avis de Couvertpuis

République Française
Département : MEUSE
Arrondissement : Bar-le-Duc
COUVERTPUIS - COMMUNE

Séance du mardi 25 novembre 2025

Délibération N° DE_011_2025

NOMBRE DE MEMBRES		
En exercice	Présents	Votants
7	5	6
Date de la convocation : 28/11/2025		
Pour	Contre	Abstention
0	6	0
Résultat du vote : rejetée		

Le vingt-cinq novembre deux mille vingt-cinq, à 19 heures 00, l'assemblée régulièrement convoquée, s'est réunie au nombre prescrit par la loi dans le lieu habituel de ses séances (SALLE DE LA MAIRIE), sous la présidence de Sébastien LEGRAND.

Présents : Sébastien LEGRAND, Jean-Louis OUDINOT, Martial GILLOT, Amélie DESLOIRE, Maurice LAURENT
Représentés : Laurence BONNET représentée par Sébastien LEGRAND
Absents et Excusés : Rémi CHAOMLEFFEL

Conformément à l'article 2121-15 du CGCT, Amélie DESLOIRE est nommé(e) à l'unanimité secrétaire de séance.

Objet : avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO)

Considérant que creuser des galeries, installer des colis radioactifs, enfouir des matières dangereuses présentent un risque majeur pour l'environnement et pour les populations de notre territoire,

Considérant qu'il est impossible de prévoir toutes les évolutions et tous les aléas sur une période de plusieurs centaines de milliers d'années (évolutions climatiques, sociales, évolution des installations, réaction de l'argile, comportement des gaz etc.) et donc de garantir la non dangerosité de l'installation sur un si long terme,

Considérant la nuisance du projet pour les villages de proximités, notamment lors du transport des colis,

Considérant les impacts environnementaux liés à la construction du centre d'enfouissement (excavation, transport, bétonisation de terre agricole destruction de forêts anciennes, quantités d'eau utilisée, modification du paysage),

Considérant la grande difficulté de « garder la mémoire du site » sur des centaines de milliers d'années,

Considérant, en tant que village de proximité, l'obligation de vivre au bord de l'installation

DE_011_2025

industrielle la plus incertaine sur le long terme jamais imaginée

Considérant la menace de pollution de l'air et de l'eau (rejets de gaz et d'eau contaminés)

Considérant la mise en danger de la biodiversité sur tout le périmètre du site de stockage

Considérant la présence policière oppressante sur notre territoire rural liée au projet Cigeo

Considérant le risque de voir l'image de notre territoire rural auquel nous sommes attaché, être apparenté à une poubelle nucléaire

Etant donné que L'autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection n'a pas rendu son avis (ce n'est qu'un projet) et que les travaux du DR0 sont toujours en cours

Etant donné le manque de dialogue, de respect envers la population qui se questionne sur le projet, et qui n'est pas autorisée à exprimer son opposition sans subir du harcèlement de la part des autorités

Pour toutes ces raisons, le conseil municipal donne un avis défavorable concernant la demande d'autorisation d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue

De plus, il ne nous semble pas logique que cette délibération soit à la discrétion des communes, et non pas obligatoire

Nous souhaiterions que au-delà des conseils municipaux, ce soit l'ensemble des habitants et habitantes du territoire qui aient la possibilité de donner leur avis via un processus plus direct tel un référendum.

Ainsi fait et délibéré, les jour mois et an que dessus.

Sébastien LEGRAND
Président de séance

Amélie DESLOIRE
Secrétaire de séance

DE_011_2025

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Préfecture de la Meuse
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-11-28(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: COUVERTPUIS - commune
N° de SIREN: 215501339
Numéro Acte de la collectivité locale: DE_011_2025
Objet acte: avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO)
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 9.1-Autres domaines de competences des communes
Identifiant Acte: 055-215501339-20251125-DE_011_2025-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.12 Avis de Dainville-Bertheléville

République Française
Département : MEUSE
Arrondissement : Commercy
DAINVILLE-BERTHELÉVILLE

Séance du vendredi 05 décembre 2025

Délibération N° 2025_DE_044

NOMBRE DE MEMBRES		
En exercice	Présents	Votants
10	6	8
Date de la convocation : 01/12/2025		
Pour	Contre	Abstention
6	0	2
Résultat du vote : adoptée		

Le cinq décembre deux mille vingt-cinq, à 19 heures 00, l'assemblée régulièrement convoquée, s'est réunie au nombre prescrit par la loi dans le lieu habituel de ses séances (Salle Ester), sous la présidence de Pascal PERRIN.

Présents : Pascal PERRIN, Michelle FIACRE, Loic COCARD, Maryline SEGARD, Michel PARIS, Jacques BROCHET
Représentés : Audrey CAUSSIN représentée par Michelle FIACRE, LAURE DREVET représentée par Michel PARIS
Absents et Excusés : Bernard BASCH, Gérald LIEZ

Conformément à l'article 2121-15 du CGCT, Michelle FIACRE est nommé(e) à l'unanimité secrétaire de séance.

Objet : Avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO)

Le Maire explique au conseil municipal qu'il faut donner un avis sur le projet concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO).

Après en avoir délibéré, le conseil municipal donne un avis réservé, il a des questionnements sur :
- les futurs impacts environnementaux,
- la réversibilité du stockage,
- la mémoire à long terme,
- les incertitudes concernant la future fiscalité

M. PARIS ne désire pas prendre par au vote

Ainsi fait et délibéré, les jour mois et an que dessus.

Pascal PERRIN
Président de séance

Michelle FIACRE
Secrétaire de séance

2025_DE_044

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Sous-Préfecture de COMMERCY
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-12-11(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: DAINVILLE BERTHELEVILLE - commune
N° de SIREN: 215501420
Numéro Acte de la collectivité locale: 2025_DE_044
Objet acte: Avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO)
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 9.1-Autres domaines de competences des communes
Identifiant Acte: 055-215501420-20251205-2025_DE_044-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.13 Avis de Demange-Baudignécourt

Envoyé en préfecture le 19/11/2025
Reçu en préfecture le 19/11/2025
Publié le
ID : 055-200086486-20251113-37_2025-DE

Commune de
DEMANGE - BAUDIGNECOURT
66 Grande rue

EXTRAIT DU REGISTRE DES DELIBERATIONS DU CONSEIL MUNICIPAL 37/2025

SEANCE DU 13 NOVEMBRE 2025

NOMBRE DE MEMBRES		
En exercice	Présents	Absents Excusés
19	11	8

Date de la convocation :
5 novembre 2025

L'an deux mil vingt cinq, le treize novembre à 18 h 30

Le conseil municipal de la commune, régulièrement convoqué, s'est réuni en Mairie sous la présidence de Monsieur Jean-Claude ANDRE, Maire.

Présents : Elisabeth JEANSON, Yvon LAURENT, Jean-Claude CHAUDRON, Angelina JAN, Karine BALSON, Corentin SCHIVRE, Sandrine DIETEMANN, Serge ROYER, Sabrina COLIN, Kévin SCHAMP.

Pouvoir : Thibaut LHERMEY (pouvoir J-C André), Aurélie MOUROT (pouvoir E. Jeanson), Bonifacio LOPEZ-ZAFRA (pouvoir A. Jan), Audrey GUIOT (pouvoir K. Schamp), Pierre-Yves LHERMEY (pouvoir C. Schivre), Lysiane SCHILLINGER (pouvoir Y. Laurent).

Excusés : Henri BELLEMIN, Yannick MASSON.

Secrétaire de séance : Elisabeth JEANSON

Objet de la délibération : Demande d'avis de Monsieur le Préfet de la Meuse concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactif de haute activité et de moyenne activité à vie longue.

Madame Audrey Guillemenet et Monsieur Clément Martin du service communication de l'Andra sont invités à présenter aux membres du conseil municipal le projet d'avis de l'autorité de sureté nucléaire et de radioprotection relatif à la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base dénommée CIGEO déposée par l'ANDRA.

A la suite de la présentation, les membres de l'assemblée sont invités à solliciter les intervenants pour obtenir des informations complémentaires.

Les interrogations posées par différents élus concernant l'avancement des travaux et en particulier ce qui concerne le territoire communal par la réhabilitation de la ligne SNCF 27000.

Après avoir délibéré, le conseil municipal considérant :
Que le dossier de demande d'autorisation comprenant l'étude d'impact peut être validé.

Qu'une enquête publique aura lieu au cours de l'automne 2026.

Que de nouvelles autorisations sont sollicitées auprès des collectivités au fur et à mesure de l'avancement des études préalables à la construction de CIGEO.

Emet un avis favorable à l'unanimité à la demande d'autorisation sollicitée par le Préfet de la Meuse coordinateur pour le projet CIGEO.

Le Maire,

Signature et cachet

MAIRIE DEMANGE-BAUDIGNECOURT MEUSE

Fait et délibéré en séance le 13 novembre 2025
Pour copie conforme et exécutoire

Transmis à la Préfecture
le 17 novembre 2025

2.3.2.14 Avis de Gondrecourt-le-Château

DEPARTEMENT DE LA MEUSE **ARRONDISSEMENT DE COMMERCY**

COMMUNE DE GONDRECOURT LE CHATEAU

EXTRAIT DU PROCES VERBAL DES DELIBERATIONS DU CONSEIL MUNICIPAL

REF : 20251022_010

REUNION DU 22 OCTOBRE 2025

L'an deux mil vingt cinq le vingt deux octobre à dix huit heures trente, le Conseil Municipal de la Commune de GONDRECOURT-LE-CHATEAU s'est réuni, après convocation légale, à la Mairie de GONDRECOURT sous la Présidence de Monsieur Daniel RENAUDEAU, Maire.

Membres en exercice : 15 **Membres présents :** 11 **Votants :** 9

Etaient présents : Alexandrine BARRET - Jean-Louis GOBERT - Thierry PIROIRD – Daniel RENAUDEAU - Samuel VEYLAND - Augustine COLLADO – Xavier FORVEILLE – Catherine DUPUIT- Christophe FERAUX - Jean-Claude HARQUIN - Maryline FRANÇOIS.

Absents excusés : Sylvie ROBERT a donné procuration à Samuel VEYLAND.
Serge VARIN – Cédric ANTOINE – Delphine FRANÇOIS.

Secrétaire : Alexandrine BARRET

Objet : Avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGÉO).

Le Maire donne lecture aux membres présents du courrier de M. le Préfet de la Meuse concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGÉO).

Conformément aux dispositions de l'article R.593-21 du Code de l'Environnement, il revient au Préfet coordonnateur pour le projet CIGÉO par arrêté du 1er Ministre en date du 20 décembre 2020, de solliciter l'avis des collectivités territoriales et leurs groupements intéressés au regard des incidences environnementales notables du projet sur leur territoire au titre de l'article L.122-1 V du Code de l'Environnement qui prévoit : « lorsqu'un projet est soumis à évaluation environnementale, le dossier présentant le projet comprenant l'étude d'impact et la demande d'autorisation déposée est transmis pour avis à l'autorité environnementale ainsi qu'aux collectivités territoriales et à leurs groupements intéressés par le projet ».

Le dossier a été transmis aux membres présents en amont de la réunion.

Après en avoir délibéré à 9 voix pour et 3 abstentions (T. PIROIRD, J-L GOBERT et C FERAUX), le Conseil Municipal :

- **Emet un avis favorable** concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGÉO).

Fait et délibéré en séance les jour, mois et an ci-dessus.

POUR COPIE CERTIFIEE CONFORME

Le Maire,

MAIRIE DE GONDRECOURT-LE-CHATEAU 55130

Daniel RENAUDEAU

Date de convocation : 14/10/ 2025

Date d'affichage en Mairie : 23/10/2025

2.3.2.15 Avis d'Hévilliers



EXTRAIT DU REGISTRE DES DELIBERATIONS DU CONSEIL MUNICIPAL

Séance du 13 novembre 2025

L'an deux mil vingt-cinq le 13 novembre à 19 heures, les membres du Conseil Municipal de la Commune de Hévilliers, se sont réunis en session ordinaire au lieu habituel de ses séances, après convocation légale, sous la présidence de Monsieur LOISY Michel, Maire

Date de convocation du Conseil Municipal		7 novembre 2025	
Nombre de membres en exercice	10	Nombre de membres présents	8
Nombre de membres absents	2	Nombre de pouvoirs	1
Nombre de votants		**9**	

Etaient présents	AUDOUX Francis BOURLART Patrick HECHT Patrick LOISY Michel NICOLLE Laurent NICOLLE Serge ROUSSEL Didier VICTORION Laetitia
Etait excusée	BURNEL Pauline
Excusé ayant donné procuration	CARBONNIER Philippe : pouvoir à LOISY Michel
Etait absent	Néant

Il a été procédé à l'élection d'un secrétaire désigné au sein du Conseil Municipal, Monsieur BOURLART Patrick a été désigné pour remplir les fonctions de secrétaire conformément à l'article L. 2121-5 du Code Général des Collectivités Territoriales.

DCM2025_11_13_1	**Demande d'avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longe (Cigéo)**

L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) a déposé, le 16 janvier 2023 auprès du Ministre chargé de la sûreté nucléaire, un dossier de demande d'autorisation de création (DAC) d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo).

Ce projet a été déclaré opération d'intérêt national et d'utilité publique par décrets n° 2022-992 et n° 2022-993 du 7 juillet 2022

L'article L.122-1 V du Code de l'Environnement prévoit que « lorsqu'un projet est soumis à évaluation environnementale, le dossier présentant le projet comprenant l'étude d'impact et la demande d'autorisation déposée est transmis pour avis à l'autorité environnementale ainsi qu'aux collectivités territoriales et à leurs groupements intéressés par le projet ».

Le Maire demande donc au Conseil Municipal de se prononcer sur ce dossier.

Le Conseil Municipal, après délibération et procédé au vote

9 voix pour	0 voix contre	0 abstention

DECIDE

• D'émettre un avis favorable sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longe (Cigéo)

.....

Fait et délibéré, les jours, mois et an que dessus
Pour copie conforme
Le Maire,
Michel LOISY

Le Maire certifie sous sa responsabilité le caractère exécutoire de cet acte et informe que la présente délibération peut être contestée dans un délai de deux mois à compter de sa publication, en recommandé avec accusé de réception :
· soit par un recours gracieux, adressé au Maire
· soit par un recours contentieux, devant le Tribunal Administratif de Nancy – 5, Place de la Carrière – CO 20038 – 54036 Nancy Cédex.
Le Tribunal Administratif peut aussi être saisi par l'application informatique « Télérecours citoyens » accessible par le site internet : www.telerecours.fr
Après un recours gracieux, le délai de recours contentieux ne court qu'à compter de rejet explicite ou implicite de ce recours. Le recours implicite intervient suite au silence gardé par le Maire à l'issue d'une période de deux mois.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Préfecture de la Meuse
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-11-17(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: HEVILLIERS - commune
N° de SIREN: 215502469
Numéro Acte de la collectivité locale: DCM2025_11_13_1
Objet acte: Demande d?avis concernant la demande d?autorisation de création d?un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longe (Cigéo)
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 9.1-Autres domaines de competences des communes
Identifiant Acte: 055-215502469-20251113-DCM2025_11_13_1-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.16 Avis d'Horville-en-Ornois

Envoyé en préfecture le 01/12/2025
Reçu en préfecture le 01/12/2025
Publié le 24/11/2025
ID : 055-215502477-20251121-DEL_2025_18-DE

HORVILLE-EN-ORNOIS
55130

EXTRAIT DU PROCES – VERBAL DES DÉLIBÉRATIONS

Séance du 21 novembre 2025

L'an deux mil vingt-cinq, le vendredi **vingt-et-un novembre** à **dix-huit heures et trente minutes**, le Conseil Municipal de cette commune, légalement convoqué conformément à l'article L.2121.10 du C.G.C.T, s'est réuni en Mairie sous la présidence de M. Claude **FRANÇOIS**.

La convocation est adressée et affichée le 17 novembre 2025.

Sont présents : Jean-Paul **ADNET**, Maxime **ADNET**, Jean-Pascal **BONFANTI**, Claude **FRANÇOIS**, Hervé **LÉONET**, Louis **LODÉ**.

Excusé : Maxime **SCHIVRE** pouvoir à Maxime **ADNET**

Nombre de conseillers en exercice : **7** le quorum étant atteint, l'Assemblée peut délibérer.

Jean-Pascal **BONFANTI** est nommé secrétaire de séance par le conseil municipal, conformément à l'article L.2121-15 du C.G.C.T.

Aucune remarque n'ayant été formulée, le procès-verbal de la séance du 12 septembre 2025 est approuvé.

2025/18 – Demande d'autorisation de construction de Cigéo : avis de la commune

Conformément aux dispositions de l'article R.593-21 du Code de l'environnement, le Préfet de la Meuse sollicite l'avis des collectivités territoriales au regard des incidences environnementales notables du projet CIGEO sur leur territoire,

L'article R.122-7 du code de l'environnement précise que les collectivités disposent d'un délai de deux mois, à compter de la notification du 06 octobre 2025, pour délibérer. Les avis ou information relative à l'absence d'avis seront transmis à l'ANDRA en sa qualité de maître d'ouvrage du projet CIGEO. Ils seront également joints au dossier de l'enquête publique.

Après avoir pris connaissance du projet d'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection,

LE CONSEIL MUNICIPAL, après en avoir délibéré et à l'unanimité,

N'ÉMET AUCUN AVIS sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo).

Pour extrait certifié conforme au registre des délibérations.
Claude FRANÇOIS, maire

2.3.2.17 Avis d'Houdelaincourt

Décision n° 2025.05.01

DÉPARTEMENT DE LA MEUSE - ARRONDISSEMENT DE COMMERCY

COMMUNE DE HOUDELAINCOURT

EXTRAIT DU PROCÈS VERBAL DES DÉLIBERATIONS DU CONSEIL MUNICIPAL

Séance du vendredi 31 octobre 2025 à 19 heures

Conseillers en exercice : 8
Présents : 6
Votants : 8

Date de convocation : lundi 27 octobre 2025
Secrétaire de séance : Thibaut VARNIER

PRÉSENTS : Corinne MENZIN, Patrick MALINGRE, Lydie GUIOT, Ludovic POINTEAUX, Thibaut VARNIER, Jean-Marie RIVIERE

ABSENTS EXCUSÉS : Rémy BOUR (a donné pouvoir à Corinne MENZIN), Jean-Louis ROLIN (a donné pouvoir à Lydie GUIOT)

2025.05.01 Avis relatif à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo)

La Présidente de la séance donne la parole à un représentant de l'ANDRA, venu informer le conseil municipal de l'état d'avancement de la demande d'autorisation de création du centre de stockage en couche géologique profonde pour les déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (projet Cigéo).

La Présidente précise que la commune de Houdelaincourt, faisant partie des collectivités concernées par ce projet, est appelée à émettre un avis sur ce dossier.

Avis : Notre commune, comme douze autres situées dans le rayon des 10 km autour du site de l'ANDRA, a été complétement oublié dans la loi de finances concernant la fiscalité. Dans ces conditions, le conseil municipal, après en avoir délibéré **à 8 voix « Pour »,** ne se sent plus concerné et ne souhaite pas donner d'avis à ce sujet.

A Houdelaincourt, le 31 octobre 2025

Pour le Maire empêché,
Corinne MENZIN,
2e adjointe au Maire,

MAIRIE DE HOUDELAINCOURT (Meuse)

Acte rendu exécutoire après affichage et transmission au Contrôle de Légalité le 04 novembre 2025

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Sous-Préfecture de COMMERCY
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-11-04(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: HOUDELAINCOURT - commune
N° de SIREN: 215502485
Numéro Acte de la collectivité locale: DELIB20250501
Objet acte: AVIS DAC CIGEO
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 9.1-Autres domaines de competences des communes
Identifiant Acte: 055-215502485-20251031-DELIB20250501-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.18 Avis de Le Bouchon-sur-Saulx

Envoyé en préfecture le 10/12/2025
Reçu en préfecture le 10/12/2025
Publié le
ID : 055-215500612-20251205-DE_018_2025-DE

République Française
Département : MEUSE
Arrondissement : Bar-le-Duc
LE BOUCHON SUR SAULX - COMMUNE

Séance du vendredi 05 décembre 2025

Délibération N° DE_018_2025

NOMBRE DE MEMBRES		
En exercice	Présents	Votants
11	8	10
Date de la convocation : 01/12/2025		
Pour	Contre	Abstention
10	0	0
Résultat du vote : adoptée		

Le cinq décembre deux mille vingt-cinq, à 19 heures 30, l'assemblée régulièrement convoquée, s'est réunie au nombre prescrit par la loi dans le lieu habituel de ses séances (Salle du Conseil Municipal), sous la présidence de Hervé VAN DE WALLE.

Présents : Hervé VAN DE WALLE, Sandrine ZANOTTI, Claude PICARDEL, Romuald DIVOUX, Rachid LEFKOUN, Christian FROMENT, André JOLIBOIS, Dominique DEVAUX-TRALBAULT
Représentés : Grégory GRUSELLE représenté par Claude PICARDEL, Marine FROMENT représentée par Christian FROMENT
Absents et Excusés : Fanny GARENNE

Conformément à l'article 2121-15 du CGCT, Sandrine ZANOTTI est nommé(e) à l'unanimité secrétaire de séance.

Objet : avis du conseil municipal sur la demande de création d'un centre de stockage de déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue (CIGEO)

Vu le courrier de Monsieur le préfet de la Meuse du 6 octobre 2025 sollicitant l'avis du conseil municipal de la commune de LE BOUCHON SUR SAULX concernant la demande d'autorisation de création du centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs HA et MAVL (CIGEO) et ses pièces annexes

Vu les éléments portés à connaissance du conseil par le maire à savoir :
- Le document remis par l'ASNR laissé à chacun des membres du conseil et exposé en séance du 28/11/2025
- La présentation par l'ANDRA au conseil municipal du 28/11/2025 du projet et des enjeux de la DAC (échéances enjeux et engagements de la DAC)
- Les remarques du CLIS sur l'avis de l'ASNR

Le conseil en valide la synthèse suivante :

Il apparaît dans les commentaires de l'ASNR sur le dossier DAC, élément repris par le CLIS, une série de points pour lesquels subsistent des incertitudes ou pour lesquels la démonstration de sûreté doit encore être complétée, voire renforcée, tout

Envoyé en préfecture le 10/12/2025
Reçu en préfecture le 10/12/2025
Publié le
ID : 055-215500612-20251205-DE_018_2025-DE

en estimant que le dossier répond aux exigences attendues à ce stade.

Les recommandations de l'ASNR font pour la plupart l'objet d'engagements de la part de l'ANDRA. Ces engagements devant être tenus à des échéances variées (de la mise à jour de la DAC avant l'enquête publique, jusqu'à la fin de la phase industrielle pilote).

La commune a bien compris, d'une part que le projet est itératif, avec des points d'étape au cours desquels l'ANDRA devra apporter des éléments de réponse, d'autre part que certaines études complémentaires doivent être menées à l'endroit même où est envisagé le stockage, et donc seulement au moment de la phase pilote.

La commune reprend le travail de synthèse réalisé par le CLIS sur les différents points nécessitant des compléments sur ceux listés dans l'annexe du projet d'avis de l'ASNR.
Il en va ainsi pour :
Les incertitudes relatives à l'inventaire de référence, et le cas particulier des déchets bitumés.
Les connaissances restant à acquérir sur la formation hôte au nord de la zone de stockage et pour la caractérisation des calcaires du Barrois (prise en compte des travaux prévus dans le cadre des opérations DR0).
La définition des méthodes de creusement des puits, des galeries et des alvéoles MAVL (risque d'endommagement de la roche hôte).
La tenue des alvéoles HA à la corrosion et les études à mener sur le matériau de remplissage de l'espace annulaire.
La conception des scellements encore à un stade préliminaire et leur localisation.
Les questions relatives à la maîtrise du risque « incendie » (notamment la capacité d'intervention et le concept de compartimentage).
Les compléments à apporter à la démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque d'explosion, au cours des opérations de fermeture et après fermeture pour les alvéoles MAVL, et en phase d'exploitation pour les alvéoles HA.
L'inventaire des substances toxiques chimiques et l'évaluation de l'impact des rejets toxiques, gazeux ou liquides.
La prise en compte du changement climatique, en cours d'exploitation (risque d'inondation lié à la descenderie) et après fermeture, et ses conséquences sur le modèle hydrogéologique.

Sur tous ces sujets, la municipalité, n'ayant pas à son niveau l'expertise pour critiquer les points soulevés ci-dessus, s'appuie sur les questions du CLIS.
«Ce dernier estime que le projet d'avis, qui contient principalement des demandes de compléments, ne semble pas représentatif des réserves émises par les experts de l'ASNR dans les rapports qui ont alimenté les travaux des trois groupes permanents d'experts (données de base, sûreté en exploitation, sûreté après fermeture).
Il lui semble aussi nécessaire pour une bonne compréhension du dossier par le public, qu'il serait souhaitable de disposer, en annexe de l'avis, d'un tableau reprenant les recommandations de l'ASNR, les engagements correspondants de l'ANDRA, et les échéances associées afin de mettre en évidence les conséquences du non-respect par l'ANDRA de l'un ou de plusieurs de ses

Envoyé en préfecture le 10/12/2025
Reçu en préfecture le 10/12/2025
Publié le
ID : 055-215500612-20251205-DE_018_2025-DE

engagements. »

En effet, sur tous ces points :

Le public doit disposer d'une information synthétique lisible et compréhensible sur un sujet éminemment complexe. En ce sens, un tableau de synthèse répertoriant clairement les engagements de réponse pris par l'ANDRA sur les différentes échéances du projet serait un élément clé de compréhension et du suivi par le public.
Ces informations nécessiteront d'être validées par toutes les parties prenantes au dossier DAC ; l'ANDRA, l'ASNR, le CLIS et les groupes d'experts associés.
Les engagements sur la démonstration de sûreté du stockage doivent être levés au titre des données de base du projet, de la sûreté en exploitation, et de la sûreté après fermeture. Aussi, la question de la mémoire après fermeture demeure un sujet.
Un tel projet ne peut souffrir d'incertitudes sur la sureté à très long terme. La démonstration de sureté jusque, la fermeture du site, doit être faite avant la descente du premier déchet nucléaire dans le site de CIGEO.
Enfin, il est regrettable que les collectivités de proximité n'ont pas de vue sur le point d'atterrissage des retombées fiscales sur le territoire. Un tel projet a nécessairement des conséquences ;

- dans sa phase de construction (travaux de surface, chantier de grande ampleur avec impact pour les populations)
- le transport des déchets et présence des déchets en surface avant de les descendre
- et après fermeture, sur la présence sous nos pieds de ce stockage de déchets nucléaires MAVL et HAVL

Ce projet impacte donc fortement notre ruralité et son équilibre de vie.
Quelles compensations financières ?

Sur ces éléments, après avoir délibéré, le conseil municipal, à l'unanimité, émet un avis réservé sur la DAC et conditionnel à la levée par l'ANDRA de toutes les incertitudes sur la sureté du site avant la descente du premier déchet nucléaire et l'exploitation de CIGEO.

Ainsi fait et délibéré, les jour mois et an que dessus.

Hervé VAN DE WALLE
Président de séance

Sandrine ZANOTTI
Secrétaire de séance

DE_018_2025

2.3.2.19 Avis de Ligny-en-Barrois

République Française
*****
Département de la Meuse

EXTRAIT DU REGISTRE DES DELIBERATIONS
CONSEIL MUNICIPAL
Commune de Ligny-en-Barrois
*****
SEANCE DU Mardi 4 NOVEMBRE 2025

Nombre de Membres		
Membres en exercice	Présents	Votants
27	23	23 + 4 pouvoirs

Date de convocation
28 octobre 2025

Date de publicité
17 novembre 2025

L'an deux mille vingt-cinq, le quatre novembre à dix-huit heures, le Conseil municipal, régulièrement convoqué, s'est réuni au nombre prescrit par la loi, en Conseil municipal, qui a eu lieu salle du Conseil municipal au rez-de-chaussée de l'Hôtel de Ville, sous la présidence de **Jean-Michel GUYOT**, Maire.

Présents : **Isabelle BASSO, Roger BEAUXEROIS, Marie-Claire BOUQUET, Franck BRIEY, David CARNEIRO, Marie-Christine CAUSIN, Daniel DUFOUR, Joëlle ESCHBACH, Michel FAYS, Isabelle GANAN, Wilfried GREMILLET, Elisabeth GUERQUIN, Jean-Michel GUYOT, Mathieu HENRY, Fabrice KENNEL, Thierry LUCQUIN, Etienne METOR, Myriam MUNIER, Isabelle PERIN, Maria ROSA, Emmanuelle SIMON, Jean THOMAS, Fabrice VARINOT.**

Représentés : **François CARNEIRO à Michel FAYS, Emmanuelle DOS REIS à Isabelle PERIN, Océane HANQUET à Isabelle GANAN, Damien SPINDLER à Mathieu HENRY.**

Monsieur Michel FAYS a été nommé secrétaire de séance.

Assistaient également : **Karlo GBANDI (DGS), Joanna ROBINOT (secrétariat général).**

Objet : Avis du Conseil municipal sur la demande d'autorisation de création de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs en haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo)
N° de délibération : 2025_068

Conseillers présents	*Suffrages exprimés avec pouvoir*	*Pour*	*Contre*	*Abstention*	*Non participant*
23	4	26	1	0	0

AVIS DU CONSEIL MUNICIPAL SUR LA DEMANDE D'AUTORISATION DE CRÉATION DE STOCKAGE EN COUCHE GÉOLOGIQUE PROFONDE DE DÉCHETS RADIOACTIFS EN HAUTE ACTIVITÉ ET DE MOYENNE ACTIVITÉ À VIE LONGUE (Cigéo)

Le 16 janvier 2023, l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) a déposé un Dossier d'Autorisation de Création (DAC) d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo). Ce programme a été déclaré opération d'intérêt national et d'utilité publique, par décrets n°2022-992 et n°2022-993 du 07 juillet 2022.

Le dossier transmis par l'Andra a fait l'objet d'une instruction technique par l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR) qui a rendu trois rapports publics concernant l'expertise de sureté du projet Cigéo que l'on peut trouver à l'adresse suivante : https://reglementation-controle.asnr.fr/espace-professionnels/installations-

nucleaires/projet-de-centre-de-stockage-en-couche-geologique-profonde-cigeo#aujourd-hui-instruction-de-la-dac.

Considérant l'article R.593-21 du Code de l'environnement, Monsieur le Préfet de la Meuse, coordonnateur du projet Cigéo, par courriel en date du 6 octobre 2025, sollicite l'avis du Conseil municipal.

Considérant l'article R.122-7 du Code de l'environnement, qu'un avis doit être exprimé dans un délai maximum de deux mois à compter de la réception du courriel en date du 6 octobre 2025.

Le Conseil municipal
PREND ACTE

- ***de la communication du projet Cigéo réalisé par l'Andra,***
- ***de la tenue du débat sur la demande d'autorisation de création de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs en haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo).***

Dans le cadre de ce débat, les avis émis par les élus avec les réponses apportées par les représentants de l'Andra invité par M. le Maire procèdent de la manière suivante :

M. METOR pose une question : Quand vous dites que vous allez faire des tests, de quoi s'agit-il exactement ? Est-ce que cela veut dire que vous allez enfouir quelque chose, attendre trente ans, puis revenir après la phase industrielle pilote ?

M. CARTEGNIE de l'Andra répond : Comme nous l'avons vu dans le planning, la Décision d'Autorisation de Création (DAC) a été accordée. Elle permet de construire l'installation. Une fois cette installation construite, elle permettra de tester le fonctionnement des différents éléments mécaniques : les portes, les dispositifs mobiles dans les descenderies et les puits.

Pendant toute une période allant jusqu'en 2049, nous ferons fonctionner ces équipements avec de faux colis, afin de valider la robustesse de l'ensemble des installations, la qualité des joints et le bon fonctionnement général.

Ensuite, il y aura une mise en service partielle, au cours de laquelle l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR) vérifiera que le cahier des charges est bien respecté.

Ce n'est qu'à partir de 2050 que nous pourrons effectuer des essais à petite échelle, cette fois avec de vrais colis.

M. BRIEY s'interroge sur le fait que le Conseil municipal soit aujourd'hui contraint de rendre un avis ou de prendre une décision avant même que certaines recommandations ou préconisations de l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR) aient été prises en compte.

Il regrette sincèrement que, dans la volonté de construire un débat et d'éclairer les élus avant toute prise de décision, la séance se transforme aujourd'hui en un monologue. Des personnes ont formulé un ensemble de remarques et de questionnements, mais n'ont pas eu la possibilité de s'exprimer devant les conseillers municipaux et il le regrette et en fait part à M. le Maire.

Selon lui, prendre une décision éclairée, c'est aussi tenir compte de l'ensemble des éléments soulevés par les acteurs concernés.

Il estime que cette occasion aurait pu être un moment important d'échange avec les citoyens, mais que ceux-ci ont été privés de parole. Malgré la qualité des présentations techniques fournies, il reconnaît ne pas avoir compris la majorité des éléments exposés.

« À ce stade, je ne suis pas en mesure de prendre une décision. »

Il rappelle que plusieurs incertitudes subsistent, notamment :

- sur la nature et le volume exact des déchets,
- sur la maîtrise des risques d'incendie et d'explosion,
- sur la tenue des alvéoles à forte activité face à la corrosion,
- sur les connaissances encore incomplètes de la formation géologique d'accueil,
- ainsi que sur les méthodes de creusement des puits et des galeries.

Il souligne qu'on demande aux élus d'émettre un avis sur un sujet engageant la sécurité des citoyens, sans disposer de toutes les garanties nécessaires. Il indique ne pas se sentir capable, en conscience, d'engager cette responsabilité sans disposer de tous les éléments utiles à une prise de décision éclairée.

Il met en garde l'ensemble du Conseil municipal contre la portée de l'engagement qui sera pris ce soir. Certaines de ses questions, posées lors de précédentes réunions, sont restées sans réponse.

Il revient également sur la question de la circulation ferroviaire au niveau de la voie ferrée sur les passages stratégiques de l'unité Alzheimer et de l'Ehpad. Il rappelle qu'on lui avait répondu qu'un souterrain serait aménagé, mais sans précision concrète à ce jour.

Concernant les valeurs immobilières, il cite l'exemple d'un habitant qui s'inquiétait d'une baisse du prix de sa maison avec le passage de convois radioactifs. Le directeur de l'Andra (M. TORRES) aurait affirmé qu'il n'y aurait « aucune perte de valeur », ce qu'il juge peu crédible. Il demande donc quel mécanisme d'indemnisation sera prévu en cas de dépréciation effective.

Il dénonce ce qu'il appelle un « marché de dupes » : Cigéo avait été présenté comme un vecteur de développement économique et d'emploi, mais avec la mise en œuvre du Zéro Artificialisation Nette (ZAN), les perspectives de développement et d'habitat se trouvent désormais limitées.

Selon lui, la promesse de retombées économiques ne sera pas tenue. Il souhaite obtenir des garanties pour que le territoire concerné par le projet Cigéo ne soit pas pénalisé par la réglementation du Zéro Artificialisation Nette (ZAN).

Il rappelle que la Meuse a accepté un projet d'enfouissement nucléaire alors que d'autres territoires s'y sont opposés, et qu'il est donc légitime d'attendre des contreparties équitables.

« Aujourd'hui, je ne me sens pas prêt à donner un blanc-seing à un projet d'une telle ampleur. »

Il conclut en appelant ses collègues à mesurer la portée de leur vote :

« Ce n'est pas un engagement anodin. Il engage le territoire, la vie des Linéens et des Linéennes, des Meusiens et des Meusiennes, pour des générations. Pour ma part, n'ayant pas les éléments suffisants, je voterai contre. »

M. BEAUXEROIS précise qu'il n'est pas expert du projet Cigéo, mais qu'il souhaite exprimer un avis fondé sur la logique générale du programme.

Selon lui, l'énergie nucléaire constitue aujourd'hui une énergie décarbonée, essentielle dans la lutte contre le réchauffement climatique. Elle présente deux avantages majeurs :

- elle est non intermittente, car elle produit en continu, même en l'absence de vent ou de soleil ;
- elle est adaptée à la demande croissante d'électricité, aussi bien pour les usages économiques que domestiques, notamment dans le cadre de la transition énergétique.

Il reconnaît que cette énergie génère des déchets dangereux, mais souligne que, après de nombreuses études et expérimentations nationales et internationales, le projet Cigéo demeure la seule solution durable pour confiner les déchets radioactifs jusqu'à la disparition de leur radioactivité.

« Cigéo, à condition qu'il soit correctement réalisé, est le moyen le plus sûr de confiner ces déchets et d'éviter tout impact négatif sur les populations. »

Il émet donc un avis favorable au projet Cigéo, dans le respect des principes constitutionnels de précaution et des préconisations de l'Autorité de Sûreté nucléaire et de Radioprotection (ASNR). Il ajoute toutefois qu'en cas de défaillance technique ou de problème de sécurité, les organismes de contrôle et le Conseil constitutionnel pourraient être saisis pour suspendre le projet.

« Mon avis favorable n'est pas un blanc-seing ; il reste conditionné au respect strict des règles de sûreté. »

M. le Maire souhaite d'abord clarifier deux points soulevés par M. BRIEY :

- ce n'est pas l'Andra qui sollicite un avis, mais bien M. le Préfet, dans le cadre d'une consultation de 58 collectivités locales.
- le rôle du Conseil municipal est donc de répondre à cette demande préfectorale, et non d'organiser un débat public.
- concernant le Comité Local d'Information et de Suivi (CLIS), le Maire indique y participer régulièrement.

Selon lui, les mêmes questions y reviennent souvent, tout comme les mêmes réponses, qui ne sont pas toujours entendues.

Les groupes de travail du Comité Local d'Information et de Suivi (CLIS), auxquels il a contribué, poursuivent leurs réflexions avec des experts pour faire avancer le dossier.

Il précise que la réunion du jour n'avait pas pour objectif d'ouvrir un débat public, des débats ayant déjà eu lieu, parfois dans un climat tendu mais simplement de répondre à la demande d'avis formulée par le Préfet, sur la base du dossier de l'Autorité de Sûreté nucléaire et de Radioprotection (ASNR) et des présentations techniques de l'Andra.

« L'objectif de ce soir est de rendre un avis, pas de rouvrir un débat. »

Enfin, il reconnaît le bien-fondé des remarques de M. BRIEY concernant la loi Zéro Artificialisation Nette (ZAN) et ses conséquences sur le développement local.

M. CARTEGNIE de l'Andra apporte des précisions techniques concernant le Zéro Artificialisation Nette (ZAN). Il explique que les hectares utilisés dans le cadre du

projet Cigéo ne sont pas comptabilisés dans les quotas d'artificialisation des communes concernées.

Ces surfaces sont intégrées à la comptabilité nationale, ce qui signifie qu'elles n'enlèvent aucun hectare aux capacités locales de développement. De plus, la zone d'activité voisine, baptisée Parc'Innov, relève d'une comptabilité régionale, et n'impacte donc pas non plus les droits à construire ou à aménager de Ligny ou des autres communes de la Meuse.

M. BRIEY précise qu'il ne remet pas en cause le projet Cigéo en lui-même, mais bien le calendrier et les conditions dans lesquelles les élus doivent aujourd'hui se prononcer.

Il revient sur la promesse initiale faite par les responsables politiques départementaux et régionaux, selon laquelle le territoire bénéficierait d'un essor économique et de créations d'emplois grâce à Cigéo. Or, avec la mise en œuvre du Zéro Artificialisation Nette (ZAN), il estime que ces promesses ne pourront pas être tenues :

« On nous avait promis un développement économique autour de Cigéo, mais aujourd'hui, avec le Zéro Artificialisation Nette (ZAN), nous n'en verrons pas les bénéfices. »

Il demande que le territoire concerné par Cigéo bénéficie d'une dérogation à la loi Zéro Artificialisation Nette (ZAN), afin de ne pas être limité dans ses capacités de développement économique et d'habitat. Il rappelle que le Département de la Meuse a accepté un projet d'intérêt national, et qu'il est donc légitime d'attendre des contreparties concrètes.

Il insiste enfin sur la nécessité d'obtenir des garanties quant aux aménagements ferroviaires et aux passages stratégiques (notamment à proximité des établissements sensibles comme l'unité Alzheimer et l'Ehpad).

« Nous engageons ici la vie de nos enfants, de nos petits-enfants et des générations futures. ».

M. le Maire partage la réflexion de M. BRIEY sur le Zéro Artificialisation Nette (ZAN), qu'il juge inadapté à la réalité locale.

Il rappelle que le dispositif pénalise les territoires ruraux qui ont peu consommés d'espaces ces dernières décennies et qui sont désormais limités dans leur développement.

Il cite l'exemple de projets industriels ou routiers (comme Daimler Buses ou la RN135) qui nécessitent des hectares supplémentaires et ne devraient pas être intégrés dans les quotas Zéro Artificialisation Nette (ZAN).

Il précise : « Nous devons obtenir une approche prospective, pas rétroactive, pour accompagner les projets d'avenir. ».

Mme FOURNIER de l'Andra répond à M. BRIEY en rappelant que l'avis demandé ce soir n'est pas une décision définitive, mais un avis consultatif permettant d'éclairer la décision des autorités politiques.

Cet avis s'appuie à la fois sur les collectivités locales et sur les expertises techniques disponibles.

M. BRIEY indique enfin qu'il saisira M. le Préfet concernant la délibération sur l'avis à rendre.

Fait et délibéré les jour, mois et an susdits.
Pour extrait conforme
Affiché le 17 novembre 2025
Jean-Michel GUYOT,
Maire

2.3.2.20 Avis de Longeaux

Département de la Meuse

COMMUNE
DE
LONGEAUX
55500

République Française
Département de la Meuse

Séance du 27 novembre 2025

Membres en exercice : 11	Date de la convocation: 22/11/2025 *vingt-sept novembre deux mille vingt-cinq l'assemblée régulièrement convoquée,s'est réunie sous la présidence de Loup KNAVIÉ*
Présents:9 **Votants:9** **Pour: 9** **Contre:0** **Abstentions: 0**	**Présents :** Loup KNAVIÉ, Liliane PIERROT, Richard KNAVIÉ, Dimitri ROBLOT, Jean-Philippe MOURONVAL, Fabien HUGEAT, Annick CORDEIRO, Christophe LOUVET, Didier PANOT **Représentés:** **Excusés:** **Absents:** Cynthia PÉDRINA, Christian VIDON-GERLIER **Secrétaire de séance:** Annick CORDEIRO

Objet: Avis sur la Demande d'Autorisation de Création de l'installation CIGÉO (DAC) - DE_030_2025

Monsieur le Maire explique au Conseil Municipal que :

- L'article L. 542-10-1 du Code de l'environnement qui prévoit la procédure de demande d'autorisation de création (DAC) pour Cigéo, le projet de stockage géologique profond des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue, piloté par l'ANDRA (Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs), situé à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne (secteur de Bure).
- La consultation du Conseil Municipal en tant que collectivité territoriale impactée ou concernée par les conséquences du projet.
- L'analyse du dossier de Demande d'Autorisation de Création (DAC) qui présente les mesures de sûreté, de sécurité et d'environnement envisagées.

Le Conseil Municipal, après avoir pris connaissance des éléments du dossier de la DAC Cigéo et après en avoir débattu :

- S'exprime favorablement sur la création du projet Cigéo, en reconnaissant son caractère d'intérêt national et sa nécessité dans le cadre de la gestion pérenne des déchets nucléaires français. Cet avis favorable est conditionné au respect strict des engagements de l'ANDRA en matière de sûreté, de transparence et de développement local du territoire d'implantation.
- Souligne l'impact significatif et durable sur la commune de Longeaux, qui se

trouve directement sur un des itinéraires principaux de transport des matériaux nécessaires à la construction (puis ultérieurement des colis de déchets) vers le site de Bure.

- Insiste sur les nuisances quotidiennes inévitables qui résulteront de ce trafic intense et prolongé pendant les phases de construction et d'exploitation du site, notamment :
    - Dégradation accélérée de la voirie communale et des infrastructures de transport locales.
    - Nuisances sonores pour les riverains.
    - Augmentation du risque d'accidents et de la perturbation de la circulation locale.
    - Impact sur la qualité de vie et l'attractivité du bourg.

Après en avoir délibéré, le Conseil Municipal, à l'unanimité :

- ÉMET un avis favorable à la Demande d'Autorisation de Création (DAC) de l'installation nucléaire de base portant sur le projet Cigéo.
- DEMANDE avec la plus grande fermeté que l'État et l'ANDRA prévoient une enveloppe de compensations financières spécifiques et pérennes au bénéfice de la commune de Longeaux.
- AFFIRME que cette compensation financière est légitime et nécessaire pour permettre à la commune de :
    - Procéder à la remise en état et au renforcement de la voirie impactée.
    - Financer des projets d'amélioration du cadre de vie pour atténuer les nuisances (isolation phonique, aménagements urbains).
    - Maintenir l'attractivité de la commune et soutenir son développement malgré les contraintes liées à l'itinéraire de transport.

fait et délibéré les jour, mois et an susdits,
Pour copie conforme au registre.

Le Maire, Loup KNAVIÉ

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Préfecture de la Meuse
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-12-03(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: LONGEAUX - commune
N° de SIREN: 215503004
Numéro Acte de la collectivité locale: DE_030_2025
Objet acte: Avis sur la Demande d'Autorisation de Création de l'installation CIGÉO (DAC)
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 9.1-Autres domaines de competences des communes
Identifiant Acte: 055-215503004-20251127-DE_030_2025-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.21 Avis de Mandres-en-Barrois

Envoyé en préfecture le 08/12/2025
Reçu en préfecture le 08/12/2025
Publié le 08/12/2025
ID : 055-215503152-20251201-DEL_2025_27-DE

MANDRES-EN-BARROIS
Meuse

EXTRAIT DU REGISTRE DES DELIBERATIONS
Séance du 01 décembre 2025

L'an deux mille vingt-cinq, le lundi **premier décembre** à **vingt heures**, le Conseil Municipal de cette commune, légalement convoqué conformément à l'article L.2121.10 du C.G.C.T, s'est réuni en Mairie sous la présidence de M. Julien **ROBERT**.

La convocation est adressée et affichée le 17 novembre 2025.

Etaient présents : M. **DETAMBEL** Christian, M. **FOISSY** Anthony, M. **LABAT** Christophe, M. **LABAT** René, M. **LAFROGNE** Aurélien, M. **LAFROGNE** David, M. **LESCAILLE** Maurice, M. **POIROT** Allin, M. **ROBERT** Julien.

Était absent : M. **LAFROGNE** Geoffray

Nombre de membres en exercice : 10 Le quorum est atteint, l'assemblée peut délibérer.

M. **DETAMBEL** Christian est nommé secrétaire de séance par le conseil municipal, conformément à l'article L.2121-15 du C.G.C.T.

Aucune remarque n'ayant été formulée, le procès-verbal de la séance du 15 septembre 2025 est approuvé.

2025/27 – CIGEO : Demande d'avis concernant la demande d'autorisation de création

Vu le courrier de Monsieur le Préfet de la Meuse du 6 octobre 2025 sollicitant l'avis du Conseil municipal concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO) ;

LE CONSEIL MUNICIPAL, après en avoir délibéré et à l'unanimité,

EMET un avis défavorable concernant la demande d'autorisation de création de CIGEO.

En effet les externalités négatives du projet Cigéo pour la commune de Mandres en Barrois sont beaucoup plus nombreuses que les positives :

- Le défrichement immédiat de plusieurs centaines d'hectares du Bois Lejuc, identifié comme un espace à forte capacité de séquestration carbone et constituant un véritable « poumon vert » pour la commune, suscite des préoccupations parmi les habitants quant à l'impact sur leur future qualité de vie.
- La présence continue des forces de l'ordre constitue déjà, à ce jour, une situation difficilement supportable pour une partie significative des habitants et s'apparente à un acharnement susceptible de se renforcer au cours des prochaines années, notamment durant la phase de construction de Cigéo
- Les exploitants agricoles expriment une préoccupation quant à l'éventuelle détection future de radionucléides dans les parcelles situées à proximité des émissaires, soulevant des interrogations quant à l'avenir de ces terres et de leurs cheptels.
- Les interrogations relatives à la maîtrise du risque incendie, notamment en ce qui concerne les capacités d'intervention et le dispositif de compartimentage, demeurent à ce jour insuffisamment précisées.
- Les compléments à apporter à la démonstration de sureté vis-à-vis de la maitrise du risque d'explosion au cours des opérations de fermeture et après fermeture pour les alvéoles MAVL et en phase d'exploitation pour les alvéoles HAVL sont insuffisants,
- L'analyse des risques et l'évaluation des conséquences sanitaires en cas d'incident pour les habitants situés en hyper-proximité demeurent insuffisamment développées et présentent un manque de précisions.
- La fiscalité pour la commune de Mandres en Barrois est incomplète et ce sujet est mis de côté par les pouvoirs publics alors que l'on doit déjà donner notre avis sur la création du projet.

Fait en séance, les jours, mois et an ci-dessus,
Pour copie conforme,
Julien ROBERT, maire

COMMUNE de MANDRES-EN-BARROIS (Meuse)

2.3.2.22 Avis de Marson-sur-Barboure

DEPARTEMENT
MEUSE

République Française
COMMUNE DE MARSON SUR BARBOURE

Nombre de membres en exercice : 5

Séance du 30 octobre 2025

Présents : 5
Représentés : 0
Votants : 5

trente octobre deux mille vingt-cinq à 18 heures 00, le conseil municipal de MARSON SUR BARBOURE., régulièrement convoqué, s'est réuni au nombre prescrit par la loi, sous la présidence de Joël PETITJEAN Maire
Sont présents : Joël PETITJEAN, Frédéric MALINGREY, Laurence PAULIN, Gilbert TOUSSAINT, Julie PIERRE
0
Sont représentés :
Est désigné secrétaire de séance : Gilbert TOUSSAINT

Objet de la délibération :
AVIS PROJET CIGÉO

Le Maire informe l'assemblée qu'il convient de donner un avis concernant le projet CIGEO.

Il précise que ce projet concerne la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs

Après en avoir débattu et compte tenu du manque d'élément devant nous permettre d'émettre un avis nottement l'assurance :

- De la non contaminassion des eaux souterraines,
- De la maîtrise par les services de secours de contenir un sinistre,
- De la garantie de pouvoir récupérer les colis si les conditions d'exploitation venaient à se dégrader,

L'assemblée après en avoir délibéré emet un avis défavorable par 4 voix contre et une abstention

Fait et délibéré en séance les jour, mois et an sus-dits
Pour extrait certifié conforme,

le Maire,
PETITJEAN Joel

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Sous-Préfecture de COMMERCY
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2026-01-19(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: MARSON SUR BARBOURE - commune
N° de SIREN: 215503228
Numéro Acte de la collectivité locale: DE_020_2025
Objet acte: AVIS PROJET CIGÉO
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 8.8-Environnement
Identifiant Acte: 055-215503228-20251030-DE_020_2025-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.23 Avis de Mauvages

République Française
Département : MEUSE
Arrondissement : Commercy
MAUVAGES - COMMUNE

Séance du vendredi 24 octobre 2025

Délibération N° DELI_25_2025

NOMBRE DE MEMBRES		
En exercice	Présents	Votants
9	5	6
Date de la convocation : 15/10/2025		
Pour	Contre	Abstention
6	0	0
Résultat du vote : adoptée		

Le vingt-quatre octobre deux mille vingt-cinq, à 19 heures 00, l'assemblée régulièrement convoquée, s'est réunie au nombre prescrit par la loi dans le lieu habituel de ses séances (SALLE DU CONSEIL), sous la présidence de PIERRE DABIT.

Présents : PIERRE DABIT, SONIA FERRIOL, MATHIEU SCHILLINGER, HERVE CHARPENTIER, ANDRE BLOT
Représentés : BENJAMIN URIOT représenté par MATHIEU SCHILLINGER
Absents et Excusés : RAPHAEL DOMPROBST, CHRISTOPHE JEAN, MAITE SOUDIER

Conformément à l'article 2121-15 du CGCT, SONIA FERRIOL est nommé(e) à l'unanimité secrétaire de séance.

Objet : CIGEO : AVIS SUR LA DEMANDE D'AUTORISATION DE CREATION (DAC)

Suite à la présentation par Mr Frédéric CARTEGNIE de l'Andra et à la lecture du projet d'avis de l'autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection, Monsieur le Maire informe le Conseil Municipal qu'il convient de donner un avis sur la Demande d'Autorisation de Création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo).

Le Conseil, après en avoir délibéré, émet un avis favorable sous réserve :

- qu'une nouvelle étude d'impact de trafic routier soit réalisée sur le territoire communal

- de connaitre les modalités de répartition de la fiscalité du projet Cigéo.

Après délibération, le Conseil Municipal donne un avis favorable à la demande d'autorisation de création de Cigéo sous réserve qu'une nouvelle étude d'impact de trafic routier soit réalisée sur le territoire communal et sous réserve de connaitre les modalités de répartition de la fiscalité du projet Cigéo.

Ainsi fait et délibéré, les jour mois et an que dessus.

DELI_25_2025

PIERRE DABIT
Président de séance

SONIA FERRIOL
Secrétaire de séance

DELI_25_2025

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Sous-Préfecture de COMMERCY
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-11-04(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: MAUVAGES - commune
N° de SIREN: 215503277
Numéro Acte de la collectivité locale: DELI_25_2025
Objet acte: CIGEO : AVIS SUR LA DEMANDE D'AUTORISATION DE CREATION (DAC)
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 9.2-Autres domaines de competences des departements
Identifiant Acte: 055-215503277-20251024-DELI_25_2025-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.24 Avis de Naix-aux-Forges

République Française
Département : MEUSE
Arrondissement : Bar-le-Duc
NAIX AUX FORGES - COMMUNE

Séance du lundi 17 novembre 2025

Délibération N° DE_2025_025

NOMBRE DE MEMBRES		
En exercice	Présents	Votants
11	9	9
Date de la convocation : 06/11/2025		
Pour	Contre	Abstention
9	0	0
Résultat du vote : adoptée		

Le dix-sept novembre deux mille vingt-cinq, à 18 heures 30, l'assemblée régulièrement convoquée, s'est réunie au nombre prescrit par la loi dans le lieu habituel de ses séances (Mairie de Naix aux Forges), sous la présidence de Philippe GERARD.

Présents : Philippe GERARD, Christophe THOUVENOT, Véronique NOEL, Annie JAMKA, Cécilia URBANI, Jean THIRIOT, Emilien MARCOS, Jean-Pierre MALATTIA, Joël MARTHELOT
Représentés :
Absents et Excusés : Fabrice GOUJON, Franck HUSSON

Conformément à l'article 2121-15 du CGCT, Christophe THOUVENOT est nommé(e) à l'unanimité secrétaire de séance.

Objet : Avis sur la DAC Cigéo

Suite à la présentation de M. Cartégnie et Mme Fournier (de l'ANDRA) sur la Demande d'Autorisation de Création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue(cigéo), M. le Maire expose le courrier de M. le Préfet qui demande à la commune un avis sur la DAC.

L'ensemble du conseil ne se sent pas compétent pour émettre un avis et décide de répondre:

Vous nous demandez d'émettre un avis sur la "Demande d'Autorisation de Création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue". Pour cela vous nous donnez un lien pour accéder aux documents de références, soit plusieurs dizaines de documents et plusieurs centaines de pages à consulter. Le nombre de documents à étudier étant très important, il est très difficile d'émettre un avis et cela même avec le résumé fait par M. Cartégnie et Mme Fournier (de l'ANDRA).

Le conseil municipal ne peut donc pas émettre un avis de façon objective et circonstanciée.

DE_2025_025

Ainsi fait et délibéré, les jour mois et an que dessus.

Philippe GERARD
Président de séance

Christophe THOUVENOT
Secrétaire de séance

DE_2025_025

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Préfecture de la Meuse
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-11-25(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: NAIX AUX FORGES - commune
N° de SIREN: 215503707
Numéro Acte de la collectivité locale: DE_2025_025
Objet acte: Avis sur la DAC Cigéo
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 9.1-Autres domaines de competences des communes
Identifiant Acte: 055-215503707-20251117-DE_2025_025-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.25 Avis du pôle d'équilibre territorial et rural du Pays Barrois

Délibération n° 2025_12_03_01

Pays Barrois

PETR du Pays Barrois
1 Rue de Popey
55000 Bar-le-Duc

EXTRAIT DU REGISTRE DE DELIBERATIONS
PETR DU PAYS BARROIS

Séance du 03 décembre 2025

Effectif Légal	**22**
PRESENTS	**15**
VOTANTS	**17**
POUVOIRS	**2**

N° de la délibération :
2025_12_03_01

Objet de la délibération : **AVIS SUR LA DECLARATION D'AUTORISATION DE CREATION D'UN CENTRE DE STOCKAGE EN COUCHE GEOLOGIQUE PROFONDE DE DECHETS RADIOACTIFS DE HAUTE ACTIVITE ET DE MOYENNE ACTIVITE A VIE LONGUE (CIGEO)**

- Original
- Expédition certifiée conforme à l'original

Date de la convocation :
27/11/2025

L'an deux mil vingt-cinq ; le trois décembre à seize heures, le Comité Syndical du PETR du Pays Barrois dont la constitution a été autorisée par arrêté préfectoral n°2017-1847 du 30 août 2017, légalement convoqué conformément au Code Général des Collectivités Territoriales, s'est réuni à la salle de réunion du PETR du Pays Barrois 1, rue de Popey, 55000 Bar-Le-Duc. Sous la présidence de **Monsieur Benoit HACQUIN.**

PRÉSENTS :

Pour la CA Meuse Grand Sud : Madame Martine JOLY, Messieurs Christian CHAUPAIN, Bernard DELVERT, Marc DEPREZ, Benoit HACQUIN, Alain HAUET, Jean Paul LEMOINE et Michel RIEBEL (Titulaires)

Pour la CC Portes de Meuse : Madame Dominique PENSALFINI, Messieurs Philippe ANDRE, Jean Noël FOURNIER et Angélico MATTIONI (Titulaires)

Pour la COPARY : Madame Anne ROUSSEL, Messieurs François CLAUSSE et Pierre LIOGIER (Titulaires)

EXCUSÉS : Messieurs Fabrice VARINOT, Mathias RAULOT, Rémy BOUR, François Xavier CARRE et Michel LOISY.

POUVOIRS :

M. François Xavier CARRE donne pouvoir à M. Philippe ANDRE
M. Michel LOISY donne pouvoir à M. Angélico MATTIONI

Il a été procédé à la nomination d'un secrétaire pris au sein du Comité Syndical ; **Madame Anne ROUSSEL** a été désignée pour remplir ces fonctions qu'elle a acceptées.

1

N° 2025_12_03_01

AVIS SUR LA DECLARATION D'AUTORISATION DE CREATION D'UN CENTRE DE STOCKAGE EN COUCHE GEOLOGIQUE PROFONDE DE DECHETS RADIOACTIFS DE HAUTE ACTIVITE ET DE MOYENNE ACTIVITE A VIE LONGUE (CIGEO)

Exposé des motifs :

VU le courrier de Monsieur le Préfet de la Meuse du 6 octobre 2025 sollicitant l'avis du PETR du Pays Barrois concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO) et ses pièces annexes,

L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) a déposé, le 16 janvier 2023, auprès du ministre chargé de la sûreté nucléaire, un dossier de demande d'autorisation de création (DAC) d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo). Ce projet a été déclaré opération d'intérêt national et d'utilité publique, par décrets n° 2022-992 et n° 2022-993 du 07 juillet 2022.

Le ministère chargé de la sûreté nucléaire, et plus particulièrement la direction générale de la prévention des risques (DGPR), a la responsabilité de piloter cette procédure d'instruction et à ce titre, a saisi Monsieur le Préfet de la Meuse par courrier du 30 septembre 2025.

Conformément aux dispositions de l'article R. 593-21 du Code de l'environnement, il lui revient de solliciter, en tant que préfet coordonnateur pour le projet Cigéo par arrêté du Premier ministre en date du 22 décembre 2020, l'avis des collectivités territoriales et leurs groupements intéressés au regard des incidences environnementales notables du projet sur leur territoire au titre de l'article L. 122-1 V du code de l'environnement qui prévoit : « Lorsqu'un projet est soumis à évaluation environnementale, le dossier présentant le projet comprenant l'étude d'impact et la demande d'autorisation déposée est transmis pour avis à l'autorité environnementale ainsi qu'aux collectivités territoriales et à leurs groupements intéressés par le projet ».

Le dossier de demande d'autorisation de création est disponible par voie dématérialisée à l'adresse suivante : https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-reference. Des exemplaires papiers du dossier de DAC sont consultables, sur rendez-vous, à la Préfecture de la Meuse, à la Préfecture de la Haute-Marne et au Centre de l'Andra en Meuse Haute-Marne.

La liste des collectivités territoriales et de leur groupements, prise en application du décret no 2025-771 du 04 août 2025 définissant la zone de consultation des collectivités territoriales de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, a été définie par arrêté inter préfectoral no 2025-1972 du 30 septembre 2025 et publié aux recueils des actes administratifs des préfectures de la Meuse et de la Haute-Marne.

L'article R. 122-7 du code de l'environnement dispose que les collectivités et groupements intéressés disposent d'un délai de deux mois pour délibérer. Les avis ou l'information relative à l'absence d'avis dans le délai mentionné seront ensuite transmis à l'Andra en sa qualité de maître d'ouvrage du projet Cigéo. Ils seront également joints au dossier de l'enquête publique.

Le dossier transmis par l'Andra a fait l'objet d'une instruction technique par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) qui a rendu trois rapports publics concernant l'expertise de sûreté du projet Cigéo que vous pouvez trouver à l'adresse suivante : https://reglementation-controle.asnr.fr/espace-professionnels/installations-nucleaires/projet-de-centre-de-stockage-en-couche-geologique-profonde-cigeo#aujourd-hui-instruction-de-la-dac

L'ASNR vient également de lancer la consultation des parties prenantes sur son projet d'avis qui a été transmis aux élus en amont de la réunion.

En conséquence, après avoir débattu, le comité syndical :

- **EMET un avis** sur le dossier de déclaration d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo) :
  - **DEFAVORABLE (1 voix)** : Marc DEPREZ
  - **ABSTENTION (2 voix)** : Dominique PENSALFINI, Angelico MATTIONI
  - **FAVORABLE avec les réserves suivantes (14 voix) :** Martine JOLY, Christian CHAUPAIN, Bernard DELVERT, Benoit HACQUIN, Alain HAUET, Jean Paul LEMOINE, Michel RIEBEL, Philippe ANDRE + Pouvoir de François Xavier CARRE, Jean Noël FOURNIER, Anne ROUSSEL, François CLAUSSE, Pierre LIOGIER, Angélico MATTIONI (pouvoir de Michel LOISY)

    - Les élus souhaitent rappeler que la réussite du projet repose aussi sur la capacité du territoire à garantir la sécurité de ses habitants, futurs habitants ou travailleurs à venir sur la phase chantier. Cela nécessite de **maintenir et de renforcer les services de santé et de secours**, dont le rôle sera déterminant pour le suivi du site et la gestion de toute situation exceptionnelle. Les élus soulignent également l'importance de consolider l'ensemble des services à la population, essentiels pour l'attractivité et la capacité d'accueil du territoire, tant durant la phase chantier que durant la phase d'exploitation de Cigéo.

    - **Conscients de l'obligation légale de réversibilité qui pèse sur le projet**, les élus souhaitent que soit garanti, de façon explicite et durable, le droit des générations futures à revenir sur les décisions, notamment par la possibilité de récupérer les colis stockés. À cet effet, ils demandent que les modalités techniques, organisationnelles et décisionnelles relatives à la réversibilité fassent l'objet d'un suivi régulier et soient actualisées à chaque stade d'instruction et d'avancement du projet. Cette démarche vise à préserver la responsabilité intergénérationnelle du territoire tout en garantissant l'adaptabilité nécessaire aux évolutions du projet et aux enseignements des phases ultérieures.

- **Les élus souhaitent que le dialogue autour du projet demeure structuré et permanent**. Ils demandent que les collectivités territoriales concernées et les instances locales d'information soient pleinement associées à toutes les étapes — études, autorisation, construction, exploitation, ainsi qu'à la phase industrielle pilote — afin que leurs observations puissent être intégrées dans les décisions relatives à l'implantation, à la sûreté et au suivi du projet. Ils soulignent également l'importance de cette concertation pour permettre aux collectivités d'adapter leurs politiques publiques locales en fonction de l'évolution effective du projet.

- **Les élus souhaitent être pleinement associés aux réflexions et décisions relatives à la mémoire du site**, afin de garantir que les éléments de suivi, de documentation et de transmission aux générations futures soient pris en compte de manière cohérente. Ils demandent également que soit conservée et valorisée la mémoire de la concertation qui aura eu lieu tout au long de l'élaboration du projet, afin que les enseignements tirés des échanges avec les collectivités, les instances locales et la société civile puissent guider les phases ultérieures et enrichir les pratiques de gouvernance territoriale.

- Enfin, les élus souhaitent que le rôle du PETR du Pays Barrois, en tant qu'acteur central de l'aménagement et porteur du Schéma de Cohérence Territorial, soit pleinement reconnu et demandent qu'il figure comme **signataire du projet de développement territorial de Cigéo**, afin d'assurer la cohérence avec les orientations et besoins du territoire.

• DONNE tout pouvoir au Président pour signer tout document à intervenir et mener à bien cette affaire.

Bar-le-Duc, le 05/12/2025

Le Président du Pays Barrois
Benoit HACQUIN



Benoit HACQUIN
2025.12.05 14:39:59 +0100
Ref:10010645-15096334-1-D
Signature numérique
le Président

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Préfecture de la Meuse
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-12-05(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: PETR du Pays Barrois
N° de SIREN: 200049906
Numéro Acte de la collectivité locale: 20251203_01
Objet acte: Avis DAC Cigeo
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 8.8-Environnement
Identifiant Acte: 055-200049906-20251203-20251203_01-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.26 Avis de Ribeaucourt

République Française
Département : MEUSE
Arrondissement : Bar-le-Duc
RIBEAUCOURT

Séance du mardi 25 novembre 2025

Délibération N° DE_2025_018

NOMBRE DE MEMBRES		
En exercice	Présents	Votants
7	5	5
Date de la convocation : 19/11/2025		
Pour	Contre	Abstention
5	0	0
Résultat du vote : adoptée		

Le vingt-cinq novembre deux mille vingt-cinq, à 18 heures 30, l'assemblée régulièrement convoquée, s'est réunie au nombre prescrit par la loi dans le lieu habituel de ses séances (Mairie, Salle du Conseil), sous la présidence de Gilles HUARDEL.

Présents : Gilles HUARDEL, Eric BARON, Nelly CARBONERA, Agnan CLEMENT, Bernard HOUSTAT
Représentés :
Absents et Excusés : Valérie CLEMENT, Stéphane CHAULOT

Conformément à l'article 2121-15 du CGCT, Eric BARON est nommé(e) à l'unanimité secrétaire de séance.

Objet : Avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigeo)

Le Maire expose au Conseil Municipal la demande d'avis de Monsieur le Préfet de la Meuse concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigeo).

Après la présentation du projet, le conseil municipal à l'unanimité émet un avis favorable à la demande d'autorisation.

Ainsi fait et délibéré, les jour mois et an que dessus.

Gilles HUARDEL
Président de séance

Eric BARON
Secrétaire de séance

DE_2025_018

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Préfecture de la Meuse
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-11-26(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: RIBEAUCOURT - commune
N° de SIREN: 215504309
Numéro Acte de la collectivité locale: DE_2025_018
Objet acte: Avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigeo)
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 8.8-Environnement
Identifiant Acte: 055-215504309-20251125-DE_2025_018-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.27 Avis de Saint-Joire

Département de la MEUSE
Arrondissement de COMMERCY

COMMUNE DE SAINT JOIRE

EXTRAIT DU PROCES-VERBAL DES DELIBERATIONS du conseil municipal du 04 Décembre 2025

L'an deux mil vingt-cinq, le 04 décembre à dix-huit heures se sont réunis dans le lieu ordinaire de leurs séances les membres du Conseil Municipal de la Commune de Saint-Joire, sous la présidence de M. Laurent AUBRY, Maire de Saint-Joire, dûment convoqués le 13/11/2025

Etaient présents : AUBRY Laurent, BASTIEN Dominique, CASTRO Alphonse, DINTRICH Audrey, HARNICHARD Jean-Marie, LARCHER Véronique, LACUISSE Sylvie, LEVEQUE Philippe, LINARD Damien, PSAUME Véronique

Excusé :

Secrétaire de séance : Véronique PSAUME

Délibération 2025-022 :

Objet de la délibération : Demande d'avis de Monsieur le Préfet de la Meuse concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactif de haute activité et de moyenne activité à vie longue.

Madame Dominique MER et Monsieur Frédéric CARTEGNIE personnel de l'Andra présente le dossier de la DAC aux membres du conseil ;
A la suite de la présentation, le conseil remercie les intervenants pour la présentation très explicite.

Le maire propose de procéder à un vote à bulletin secret, le conseil accepte à l'unanimité

Le conseil municipal se réfère au projet d'avis de l'autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) relative à la demande d'autorisation de l'installation nucléaires de Base (INB) dénommée CIGEO déposée par l'ANDRA

Après avoir délibéré, le conseil municipal considérant :

Emet un avis favorable par 8 voix pour et 2 votes blancs à la demande d'autorisation sollicitée par le Préfet de la Meuse coordinateur pour le projet CIGEO.

Fait et délibéré en séance le 04 décembre 2025
Pour copie conforme et exécutoire

Le Maire, Laurent AUBRY

La secrétaire de Séance
Véronique PSAUME

Extrait certifié conforme
Date d'affichage : 09/12/2025

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTERE DE L'INTERIEUR

Accusé de réception

Acte reçu par: Sous-Préfecture de COMMERCY
Nature transaction: AR de transmission d'acte
Date d'émission de l'accusé de réception: 2025-12-09(GMT+1)
Nombre de pièces jointes: 1
Nom émetteur: SAINT JOIRE - commune
N° de SIREN: 215504598
Numéro Acte de la collectivité locale: 2025_022
Objet acte: Annule et remplace la précédente - erreur numérotation
Nature de l'acte: Délibérations
Matière: 9.1-Autres domaines de competences des communes
Identifiant Acte: 055-215504598-20251204-2025_022-DE

Rapport d'erreur(s):

2.3.2.28 Avis du syndicat intercommunal des eaux du Haut-Ornain

Accusé de réception en préfecture
055-255502346-20251204-20251204_005b-DE
Reçu le 10/12/2025

DEPARTEMENT DE LA MEUSE **ARRONDISSEMENT DE COMMERCY**

SYNDICAT INTERCOMMUNAL DES EAUX DU HAUT ORNAIN

EXTRAIT DU PROCES VERBAL DES DELIBERATIONS DU COMITE SYNDICAL

20251204_005b

Annule et remplace la délibération n° 20251204_005

REUNION DU 4 DÉCEMBRE 2025

L'an deux mil vingt cinq, le jeudi quatre décembre à dix heures trente, le Comité Syndical s'est réuni, en séance ordinaire, après convocation légale, à la Mairie de GONDRECOURT sous la présidence de Monsieur Daniel RENAUDEAU, Président.

Membres en exercice : 8 **Membres présents : 6** **Membres votants : 8**

Présents : BONTANT Vincent – GOBERT Jean-Louis - RENAUDEAU Daniel – ROUTNOER Georgette - Bertrand MANCHETTE – BEAUDRAPS Eric.

Absents : Catherine SALZARD (procuration à M. Vincent BONTANT) – François-Xavier CARRÉ (procuration à Daniel RENAUDEAU).

Secrétaire : ROUTNOER Georgette.

OBJET : Avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGÉO).

Le Président donne lecture aux membres présents du courrier de M. le Préfet de la Meuse concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGÉO).
Conformément aux dispositions de l'article R.593-21 du Code de l'Environnement, il revient au Préfet coordonnateur pour le projet CIGÉO par arrêté du 1er Ministre en date du 20 décembre 2020, de solliciter l'avis des collectivités territoriales et leurs groupements intéressés au regard des incidences environnementales notables du projet sur leur territoire au titre de l'article L.122-1 V du Code de l'Environnement qui prévoit : « lorsqu'un projet est soumis à évaluation environnementale, le dossier présentant le projet comprenant l'étude d'impact et la demande d'autorisation déposée est transmis pour avis à l'autorité environnementale ainsi qu'aux collectivités territoriales et à leurs groupements intéressés par le projet ».

Le dossier a été transmis aux membres présents en amont de la réunion.
Après en avoir délibéré à l'unanimité des membres présents, le Conseil syndical :

- **Emet un avis favorable avec réserves *** concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGÉO).
- **Les réserves sont :** le maintien de la taxe d'accompagnement CIGÉO pour les communes de proximité ainsi que la prise en compte des observations de l'ASNR (Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection).

Date de convocation : 21/11/2025 Date d'affichage : 04/12/ 2025

Accusé de réception en préfecture
055-255502346-20251204-20251204_005b-DE
Reçu le 10/12/2025

Fait et délibéré en séance les jour, mois et an ci-dessus.
POUR COPIE CERTIFIEE CONFORME
Le Président,

S.I.V.U.
DU
HAUT ORNAIN

Daniel RENAUDEAU

Date de convocation : 21/11/2025

Date d'affichage : 04/12/ 2025

2.3.2.29 Avis du syndicat intercommunal des eaux et d'assainissement de la Vallée de l'Orge

PRÉFECTURE DE LA MEUSE
Reçu le
21 NOV. 2025
CONTRÔLE DE LÉGALITÉ

SYNDICAT EAU ET ASSAINISSEMENT
DE LA VALLEE DE L'ORGE
Mairie de Biencourt-sur-Orge
1, rue du Four
55290 BIENCOURT-SUR-ORGE

SIAEP/EU de la Vallée de l'Orge

Extrait du registre des délibérations du Comité Syndical

Séance du 14 novembre 2025

2ème réunion : le quorum n'ayant pas été atteint lors de la réunion du 4 novembre 2025, le comité syndical a été convoqué une nouvelle fois.
Le comité syndical pouvant délibérer valablement à cette occasion sans condition de quorum

L'an deux mil vingt-cinq, le 14 novembre à dix-huit heures, les membres du SIAEP/EU de la Vallée de l'Orge se sont réunis en session ordinaire au lieu habituel de ses séances, après convocation légale, sous la présidence de Monsieur Christian LOGEARD, Président

Date de convocation		5 novembre 2025	
Nombre de membres en exercice	8	Nombre de membres présents	3
Nombre de membres absents	5	Nombre de pouvoirs	0
Nombre de votants		**3**	

Etaient présents	CLEMENT Agnan LOGEARD Christian THOMAIN Yvon
Etait excusé	
Excusé ayant donné procuration	
Etaient absents	ACHERE Jean-Marc BENNI Jean-Pierre CARBONNERA Nelly CHAULOT Stéphane HUARDEL Gilles

Monsieur CLEMENT Agnan a été désigné par le Comité Syndical pour remplir les fonctions de secrétaire de séance, conformément à l'article L.2121-15 du Code Général des Collectivités Territoriales.

DCS2025_11_14_3	**Demande d'avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à longue vie (Cigéo)**

L'agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) a déposé le 16 janvier 2023, auprès du ministre chargé de la sureté nucléaire, un dossier de demande d'autorisation de création (DAC) d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo).

Ce projet a été déclaré opération d'intérêt national et d'utilité publique, par décrets n° 2022-992 et n° 2022-993 du 7 juillet 2002.

- Vu les dispositions de l'article R 593-21 du code de l'environnement
- Vu l'article L 122-1 V du Code de l'environnement qui prévoit : « lorsqu'un projet est soumis à évaluation environnementale, le dossier présentant le projet comprenant l'étude d'impact et la demande d'autorisation déposée est transmis pour avis à l'autorité environnementale ainsi qu'aux collectivités territoriales et à leurs groupements intéressés par le projet ».

Le Président demande au Comité Syndical s'il souhaite exprimer un avis sur la dite demande :

Le Comité Syndical à l'unanimité des membres,

DECIDE

· d'émettre un avis défavorable à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à longue vie (Cigéo)

.....

Fait et délibéré, les jours, mois et an que dessus
Pour copie conforme
Le Président,
Christian LOGEARD

SYNDICAT de l'EAU et de l'ASSAINISSEMENT de la VALLEE de l'ORGE 91290 BIERCOURT-SUR-ORGE

Le Président certifie que la présente délibération peut être contestée dans un délai de deux mois à compter de sa publication en recommandé avec accusé de réception :
· soit par un recours gracieux adressé au Président,
· soit par un recours contentieux, devant le Tribunal Administratif de Nancy – 5 Place de la Carrière – CO 20038 – 54036 Nancy cédex.
Le Tribunal Administratif peut aussi être saisi par l'application informatique « Télérecours citoyens », accessible par le site internet : www.telerecours.fr
Après un recours gracieux, le délai de recours contentieux ne court qu'à compter du rejet explicite ou implicite de ce recours. Le rejet implicite intervient suite au silence gardé par le Président à l'issue de la période de deux mois.

2.3.2.30 Avis de Tréveray

REPUBLIQUE FRANÇAISE
DEPARTEMENT DE LA MEUSE

MAIRIE DE TREVERAY
55130

EXTRAIT DU REGISTRE DES DELIBERATIONS DU CONSEIL MUNICIPAL

Envoyé en préfecture le 18/12/2025
Reçu en préfecture le 18/12/2025
Publié le
ID : 055-215505165-20251127-D_2025_8_5-DE

délibération : D_2025_8_5

Nombre de conseillers en exercice : 15

Présents : 10

Votants : 10

Objet : Avis sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage CIGÉO

L' an deux mille vingt cinq, le jeudi 27 novembre à 20 h 30, le Conseil Municipal dûment convoqué, s'est réuni en séance ordinaire Salle de la mairie – rez de chaussée, 10 rue Pierre de Luxembourg à TREVERAY, sous la présidence de Monsieur LALLEMANT Pascal, Le Maire.

Date de convocation du : 21 Novembre 2025

Présents : Monsieur LALLEMANT Pascal, Monsieur POZZI Mickaël, Madame LAURENT Elodie, Monsieur BERTRAND Andrew, Madame MARTIN Christelle, Monsieur MARTIN Guillaume, Monsieur PIETRYNIACK Emeric, Madame ROUX Cindy, Monsieur SIMON Maxime, Monsieur STOLF Olivier

Absent(s) : Madame FOISSY Julie, Madame HUSSON Dominique, Madame LEMOINE Martine, Madame LOPEZ Nathalie, Monsieur PLANTEGENET Ludovic

Excusé(s) :

Secrétaire de Séance : Madame Christelle MARTIN

Dans le cadre de l'instruction du projet CIGÉO, Monsieur le Préfet, par courrier du 06/10/2025, demande aux communes d'exprimer un avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue.
Dans l'hypothèse où la commune souhaite exprimer un avis, celui-ci doit être rendu avant le 06/12/2025.
Les membres doivent donc se prononcer sur le fait d'émettre un avis : favorable ou défavorable ou aucun avis ou avis réservé.

A la majorité, les membres décident de ne pas donner d'avis.

Pour : 8 Contre : 2 Abstention : 0

Emis le 27/11/2025, transmis en sous-préfecture et rendu exécutoire le 18/12/2025
Affiché le 18/12/2025

Le Maire,
LALLEMANT Pascal

2.3.3 Avis des collectivités territoriales et de leurs groupements situés en Haute-Marne

2.3.3.1 Avis d'Aingoulaincourt

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 27/11/2025 à 14h30
Référence de l'AR : 052-215200049-20251119-2025_15-DE

Département de HAUTE-MARNE
Arrondissement de SAINT DIZIER
Commune d'AINGOULAINCOURT

Extrait du registre des délibérations du Conseil Municipal
Séance du 19 novembre 2025

Convocation **13/11/2025**
Affichage **13/11/2025**
Membres en exercice **6**
Présents **6**
Votants **6**

L'an deux mil vingt-cinq le 19 novembre à 20 h 00, le Conseil Municipal légalement convoqué, s'est réuni à la Mairie en séance publique ordinaire, sous la présidence de M. Paul DAVID, Maire

Présents : Paul DAVID, Marie-Bénédicte MONTAGNE, Marie-Odile DAVID Baptiste DAVID, Nicolas DAVID, Jean-Baptiste LACAZE

Formant la majorité des membres en exercice

Absents excusés :

Mme Marie-Bénédicte MONTAGNE a été élue Secrétaire

Objet : N° 15/2025
Avis sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs HAVL et MAVL

Vu le Code l'environnement et notamment ses articles L.542-10-1 et R.122-7 ;

Vu les décrets N°2022-992 et 2022-993 du 07 juillet 2022 déclarant le projet Cigéo Opération d'Intérêt National (OIN) et d'Utilité Publique (DUP) ;

Vu l'arrêté inter préfectoral N°2025-1972 du 30 septembre 2025 pris en application du décret N°2025-771 du 04 août 2025 listant les collectivités locales et leur groupement consultés ;

Vu le courrier du 06 octobre 2025 dans lequel M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo, sollicite l'avis de la commune d'Aingoulaincourt sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo) ;

Vu le dossier de demande d'autorisation de création disponible par voie dématérialisée sur le site internet de l'Andra et contenant les pièces suivantes :
- Pièces appelées par l'article R.593-16 du Code de l'Environnement relatif au dossier de DAC de l'INB : identification de l'exploitant ; nature de l'installation ; carte et plans ; étude d'impact ; étude de maitrise des risques ; capacité techniques de l'exploitant ; capacités financières de l'exploitant ; justification de la maîtrise foncières des terrains ; servitudes et périmètres de protections et de droit exclusif ; plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance ; bilan du débat public et de concertation ; Emission de gaz à effet de serre ; plan directeur d'exploitation ;
- Pièces appelées par les articles L.123-6 et R.123-8 du code de l'environnement relatifs à l'enquête publique : présentation non technique ; informations juridiques et administratives ; avis émis sur le projet et réponses de l'Andra ;
- Pièces non règlementaires ajoutées pour la lisibilité du dossier : guide de lecture du dossier de demande d'autorisation de création ; glossaire et acronymes.

Considérant l'instruction technique réalisée par l'autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR), faisant l'objet de trois rapports publics et d'un projet d'avis, il est rappelé que l'ASNR se prononce sur les questions relatives à la sûreté nucléaire et à la protection des personnes et de l'environnement que présente le projet de stockage géologique Cigéo, pour chacune des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive et la phase de long terme.

Département de HAUTE-MARNE
Arrondissement de SAINT DIZIER
Commune d'AINGOULAINCOURT

Considérant le projet d'avis de l'ASNR et en particulier les extraits suivants

●La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique ;

● L'ASNR maintiendra les actions de dialogue avec les parties prenantes concernées. Elle estime par ailleurs opportun que les actions de concertation avec le public soient poursuivies lors des principales étapes de développement du projet et préalablement à la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote de Cigéo.

Considérant les jalons suivants retenus par l'Andra pour le développement de Cigéo :

2028 : début des travaux de terrassement
Horizon 2035 : début des creusements des liaisons surface-fond
Horizon 2040 : construction des bâtiments nucléaires
creusement des premières alvéoles MA-VL
Horizon 2045 : Creusement des premières alvéoles HA-VL
Horizon 2050 : Mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote
Horizon 2150 : phase de démantèlement

Après en avoir délibéré à l'unanimité, le conseil municipal décide :

- de rendre un avis favorable à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue.(Cigéo)

- de notifier cet avis à M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo

Rendu exécutoire à compter du 19 novembre 2025
Dépôt en Sous-Préfecture le 27 novembre 2025
Publication ou notification du 27 novembre 2025

Extrait certifié conforme
AINGOULAINCOURT
Le Maire

Paul DAVID
2025.11.27 13:27:52 +0100
Ref:9940331-14987916-1-D
Signature numérique
le Maire

PAUL DAVID

2.3.3.2 Avis d'Annonville

REPUBLIQUE FRANCAISE
Liberté, Égalité, Fraternité
Département de la HAUTE-MARNE

Arrondissement de SAINT-DIZIER
Canton de POISSONS
Commune d'**ANNONVILLE**-52230-

EXTRAIT DES DELIBERATIONS DU CONSEIL MUNICIPAL
EN DATE DU 16 OCTOBRE 2025

Date de la convocation 09.10.2025	L'an deux mil vingt cinq Le seize octobre à neuf heures et trente minutes. Le Conseil Municipal, légalement convoqué, s'est réuni
Date d'affichage	sous la présidence de Madame ROBERT Stéphanie, Maire.
Nombre de membres	Étaient présents : ROBERT S. PRADELLE L. CASSARC C et REB M.
en exercice 7 présents 4 votants 4	Absents excusés : ETINAULT A. FONTAINE G. et ROBERT J-Y.
	M. PRADELLE Ludovic a été élu pour remplir les fonctions de secrétaire.

OBJET : CIGEO : AVIS SUR LA DEMANDE D'AUTORISATION DE CREATION (DAC) **N°13/10/2025**

Suite à la présentation par Madame Fournier de l'ANDRA et à la lecture du projet d'avis de l'autorité de sureté nucléaire et de radioprotection, Madame le Maire informe le Conseil Municipal qu'ils doivent donner leur avis sur la Demande d'Autorisation de Création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo).

Après délibération, le Conseil Municipal donne un avis favorable à la demande d'autorisation de création de Cigéo

Pour extrait conforme.
A Annonville, le 16/10/2025
Le Maire
Stéphanie ROBERT

MAIRIE d'ANNONVILLE (Meuse - Marne)

2.3.3.3 Avis de Chevillon

Département
HAUTE-MARNE

Commune de CHEVILLON

Arrondissement
SAINT-DIZIER

N° 07-2025-03

EXTRAIT DU REGISTRE DES DELIBERATIONS DU CONSEIL MUNICIPAL

Le 23 octobre Deux Mil vingt-cinq à 20 H 30, le Conseil Municipal s'est réuni à la Mairie de Chevillon en session ordinaire, sous la présidence de Monsieur Dominique MERCIER, en vertu de la convocation adressée par Dominique MERCIER le 08 octobre Deux Mil vingt-cinq, mentionnée au registre et affichée à la porte de la Mairie le même jour.

NOMBRE DE CONSEILLERS :	
EN EXERCICE :	15
PRESENTS :	13
POUVOIRS :	0
VOTANTS :	13
DELIBERATION AFFICHEE	
LE 24/10/2025	

Étaient présents : M. Dominique MERCIER, Maire de CHEVILLON, : M. Gaëtan PERCHAT, Maire Délégué de la commune associée de SOMMEVILLE Romain STORTI Maire Délégué de la commune associée de Breuil sur Marne, Mme MASTALERZ Estelle Mme Magali FRANÇOIS, M. Laurent VIARD M. Philippe LESEUR Adjoints, Mme Catherine SATTA, Mme LANDREIN Florence, MARTIN Claudine Mme Mireille DEL BEN, , M DURANTON Ludovic David AUDINOT Conseillers Municipaux, lesquels forment la majorité des membres en exercice et peuvent valablement délibérer.

Excusés :, M Harvey BRAILLY

Absent : Mme RENARD Nadia

OBJET : AVIS CIGEO DAC demande d'autorisation de création

Contexte historique
Le projet Cigéo (Centre industriel de stockage géologique), porté par l'Agence nationale de gestion des déchets nucléaires (Andra), consiste en la création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longe (HA et MA-VL).
Le site de stockage est situé sur les communes de Bure (55) et de Saudron (52).
Un laboratoire souterrain, actif depuis les années 2000, permet d'étudier les conditions de sûreté à très long terme, avec comme objectif de garantir le confinement des déchets sur des centaines de milliers d'années. Les enjeux pour le territoire sont multiples : scientifiques, environnementaux, éthiques, territoriaux... et financiers.
Le projet Cigéo est actuellement estimé à 37,5 milliards d'euros, soit bien au-delà des 25 milliards initialement prévus. Ce montant couvre l'ensemble du cycle de vie du site, incluant les coûts d'exploitation, de maintenance, de sécurité, de recherche, ainsi que les taxes et assurances. Le financement repose sur le principe du « pollueur-payeur » : les producteurs de déchets (EDF, Orano et le CEA) doivent constituer des provisions financières contrôlées par l'État pour garantir la viabilité du projet sur plus de 150 ans.
À cela s'ajoutent des retombées économiques locales significatives, avec des centaines de millions d'euros de commandes prévues pour les entreprises du territoire.
Demande d'autorisation de création (DAC)
Le 16 janvier 2023, l'Andra a déposé un dossier de demande d'autorisation de création (DAC) pour le projet Cigéo.
Le projet a été déclaré opération d'intérêt national et d'utilité publique, par décrets n°2022-992 et n°2022-993 du 7 juillet 2022. Pour mémoire, la commission permanente, par délibération du 19 février 2021, s'était prononcée favorablement sur le dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo. Elle s'était également prononcée favorablement, par délibération du 19 novembre 2021, sur la création d'une opération d'intérêt national sur les territoires de la Meuse et de la Haute-Marne concernés par le projet Cigéo.
Par courrier reçu le 8 octobre 2025, le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo m'a sollicité pour que le Conseil départemental émette un avis, dans un délai maximum de 2 mois, concernant la demande d'autorisation de création formulée par l'Andra.

ette sollicitation s'inscrit notamment dans le cadre des dispositions des articles R.122-7 et R.593-21 du Code de l'environnement.
Une demande d'autorisation de création s'accompagne d'un dossier, remis au ministre de la Transition énergétique, chargée de la sûreté nucléaire. Ce dossier, dont la composition est inscrite dans le Code de l'environnement, comporte entre autres une description détaillée de l'installation et de son fonctionnement, une version préliminaire du rapport de sûreté, qui présente de façon détaillée la démonstration de sûreté de l'installation suivie par l'exploitant, ainsi qu'une étude d'impact du projet sur l'environnement.
L'autorisation de création est délivrée par Décret

Le décret d'autorisation de création, s'il est délivré, n'autorisera que le démarrage de la construction de la première tranche de Cigéo. Il permettra notamment de finaliser les démarches de contractualisation des travaux de construction. Le décret n'autorisera pas le stockage des colis de déchets radioactifs : seule une autorisation de mise en service délivrée par l'Autorité de sûreté nucléaire le permettra.
Il convient de préciser que ce dossier de DAC a fait l'objet d'une instruction technique par l'Autorité de sureté nucléaire et de radioprotection (ASNR) qui a rendu 3 rapports publics concernant l'expertise de sureté du projet Cigéo. L'ASNR vient également de lancer une consultation des parties prenantes sur son projet d'avis joint au dossier de DAC.
L'ensemble des avis sur la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base Cigéo, sont appelés par l'article L. 542-10-1 du Code de l'environnement. Sont notamment concernés :
 Autorité de sureté nucléaire et de radioprotection (ASNR),
 Autorité environnementale (AE) par le biais de l'Inspection générale de l'Environnement et du Développement durable (IGEDD),
 Collectivités territoriales et leurs groupements (zonage défini par arrêté préfectoral),
 Commission nationale des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2),
 Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST)
 Commission nationale du débat public (CNDP),
 Comité local d'information et de suivi (CLIS) du Laboratoire souterrain de Meuse/Haut-marne
Le dossier complet de demande d'autorisation de création est disponible sur le site de l'Andra à l'adresse suivante : https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-referenceCompte tenu des enjeux pour le territoire, du contenu du dossier, des avis d'ores et déjà rendu et
des moyens mis en œuvre par l'Andra pour garantir, en toute sécurité, la création du projet Cigéo,

Considérant la demande d'avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géographique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (cigéo)
Considérant le courrier reçu par le préfet de la Meuse, préfet en date du 06 octobre 2025
Considérant les explications apportées par l'ANDRA en début de séance du conseil municipal
Le Conseil Municipal
Décide à l'unanimité

de donner un avis favorable sous réserve que les bourgs centres de proximité impactés par le projet continuent à être accompagnés

Fait et délibéré en Mairie les jours, mois et an que dessus,
Pour extrait conforme au registre des délibérations.

Le Maire,
Dominique MERCIER



2.3.3.4 Avis de Cirfontaines-en-Ornois

Département de HAUTE-MARNE
Arrondissement de SAINT DIZIER
Commune de CIRFONTAINES-EN-ORNOIS

Extrait du registre des délibérations du Conseil Municipal

Convocation 20/10/2025

L'an deux mil vingt-cinq, le 24 OCTOBRE à 18 h 00

Le Conseil Municipal, légalement convoqué, s'est réuni à la Mairie en séance publique ordinaire sous la présidence de Mme VERRON Annick, Maire

Membres en exercice 6

Présents : VERRON Annick, SUCK Michel, PETITJEAN René et MULLER Sandrine

Formant la majorité des membres en exercice

Présents 4

Absents excusés : HERBELOT Paul et VERRON Jean-Patrick

Votants 4

Mme MULLER Sandrine a été désignée secrétaire

OBJET : CIGEO : AVIS SUR LA DEMANDE D'AUTORISATION DE CREATION (DAC) **N°22/10/2025**

Suite à la présentation par Madame Guillemenet de l'ANDRA et à la lecture du projet d'avis de l'autorité de sureté nucléaire et de radioprotection, Madame le Maire informe le Conseil Municipal qu'ils doivent donner leur avis sur la Demande d'Autorisation de Création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo).

Après délibération, le Conseil Municipal donne un avis favorable à l'unanimité à la demande d'autorisation de création de Cigéo

Pour extrait conforme.
A Cirfontaines-en-Ornois, le 24/10/2025
Le Maire ;
Annick VERRON

MAIRIE DE CIRFONTAINES-EN-ORNOIS (Hte-Marne)

2.3.3.5 Avis de la communauté d'agglomération Grand Saint-Dizier, Der et Vallées

EXTRAIT
DU REGISTRE DES DELIBERATIONS DU CONSEIL
DE LA COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION GRAND SAINT-DIZIER, DER & VALLEES

L'an deux mille vingt-cinq, le 24 novembre à 18 heures, le Conseil de la Communauté d'Agglomération Grand Saint-Dizier, Der & Vallées s'est réuni en séance publique à l'espace Cœur de Ville de Saint-Dizier, sous la présidence de Monsieur Quentin BRIERE, en suite de la convocation faite le 18 novembre.

Présents :
- M. BRIERE, Président
- M. SIMON, M. MARIN, M. MERCIER, Mme GEREVIC, M. GAVIER suppléant de M. NOVAC, M. KAHLAL, M. LAURENT, M. BAYER, M. KREZEL, M. CHARPENTIER, Vice-Présidents
- Mme ABA, Mme AUBRY, M. BANCELIN, M. BASTIEN, M. BAUDOT, Monsieur HOCQUET suppléant de Mme BELLIER, Mme BINET, M. BONNEAUD, M. BONNEMAINS, M. BOSSAN, M. BOUZON, Mme BOYER-CASTELO, Mme CHEVAILLIER, Mme CHEVILLON, Mme CLAUSSE, M. CLEMENT, M. COLIN D., M. COLIN P., M. COLLIN, M. DELMOTTE, Mme DELORME, M. DELVAUX, Mme DONATO, Mme DUHALDE, M. EYCHENNE, Mme GALICHER, Mme GARCIA, M. GAUCHERON, M. GOUGET, Mme GUINOISEAU, M. HURSON, M. HUVER, M. JEANSON, Mme KREBS, M. LADEIRA, Mme LANDREA, M. LASSON, Mme LE MOGUEN, M. LISSY, M. MAITREHENRY, Mme MARCYAN, Mme MASSELOT, M. MENAUCOURT, M. OZCAN, M. OUALI, M. RAIMBAULT, Mme SAGET-THYES, Mme SALEUR, M. TURCATO, M VAGLIO, Mme VERDUN, Mme ZUCCALI

Excusés : Mme BELLIER, Mme BIGUENET, Mme BLANC, Mme BONTEMPS, M. CARON, M. CHASSENDE-BAROZ, Mme COLLET, M. CORNUT-GENTILLE, Mme DE CHANLAIRE, M. DIAWARA, M. DREHER, M. GAILLARD E., M. GARNIER, M. GOUVERNEUR, M. GUILLEMIN, Mme GUYOT, M. KARATAY, M. KIHM, M. LECLERE, M. MARCHANDET, M. MILLOT, M. MOITE, M. MONCHANIN, M. NOVAC, M. OLIVIER, Mme PARISON, M. PEREZ, Mme PEYRONNEAU, M. PREVOT, M. REMENANT, M. RICHARD, Mme ROBERT-DEHAULT, M. RONDELET, M. ROUSSEL, Mme THIEBLEMONT, M. VALTON

Ont donné procuration :

Mme BIGUENET à M. VAGLIO
Mme BLANC à M. KAHLAL
M. CHASSENDE-BAROZ à Mme MASSELOT
Mme COLLET à M. OUALI
M. CORNUT-GENTILLE à M. BRIERE
M. DREHER à M. OZCAN
M. GARNIER à Mme CLAUSSE
M. ROUSSEL à Mme BOYER-CASTELO
M. GOUVERNEUR à M. MARIN
M. KARATAY à M. LISSY
M. MOITE à M. COLIN
M. MONCHANIN à Mme GUINOISEAU
M. OLIVIER à M. RAIMBAULT
Mme PEYRONNEAU à Mme ABA
Mme THIEBLEMONT à Mme LE MOGUEN

Secrétaire de séance : M. OZCAN

N°113-11-2025

AUTORISATION DE CREATION D'UN CENTRE DE STOCKAGE EN COUCHE GEOLOGIQUE PROFONDE DE DECHETS RADIOACTIFS DE HAUTE ACTIVITE ET DE MOYENNE ACTIVITE A VIE LONGUE (CIGEO) : AVIS DU CONSEIL
Rapporteur : M. le Président

L'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) a déposé, le 16 janvier 2023, auprès du ministre chargé de la sûreté nucléaire, un dossier de demande d'autorisation de création (DAC) d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo).

Ce projet a été déclaré opération d'intérêt nationale et d'utilité publique, par décrets du 07 juillet 2022.

Conformément aux dispositions de l'article R. 593-21 du Code de l'environnement, il revient au préfet de la Meuse, coordonnateur du projet Cigéo, de solliciter l'avis des collectivités territoriales et leurs groupements intéressés au regard des incidences environnementales notables du projet au titre de l'article L. 122-1 V du code de l'environnement qui prévoit que « le dossier présentant le projet comprenant l'étude d'impact et la demande d'autorisation déposée est transmis pour avis à l'autorité environnementale ainsi qu'aux collectivités territoriales et à leurs groupements intéressés par le projet ».

Le préfet de la Meuse a en conséquence sollicité le Grand Saint-Dizier, Der & Vallées pour avis par courrier du 6 octobre 2025. Le dossier de demande d'autorisation de création était disponible par voie dématérialisée à l'adresse suivante https:llvvvvw.andra.fr/cieeo/les-documents-de-reference, avec des exemplaires papiers du dossier de DAC également consultables, sur rendez-vous, à la Préfecture de la Meuse, à la Préfecture de la Haute-Marne et au Centre de l'Andra en Meuse Haute-Marne.

Le dossier transmis par l'Andra a fait l'objet d'une instruction technique par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) qui a rendu trois rapports publics concernant l'expertise de sûreté du projet Cigéo en consultation à l'adresse suivante : https://reelementation-controle.asnr.fr/esDace-Drofessionnels/installations-nucleaires/oroiet-de-centre-de-stockaee-en-couche-eeoloeiaue-orofonde-cieeo#auiourd-hui-instruction-de-la-dac.

L'article R.122-7 du code de l'environnement dispose que les collectivités et groupements intéressés bénéficient d'un délai de deux mois pour délibérer. Les avis ou l'information relative à l'absence d'avis dans le délai mentionné seront ensuite transmis à l'Andra en sa qualité de maître d'ouvrage du projet Cité. Ils seront également joints au dossier de l'enquête publique.

Le calendrier général du projet porté par l'ANDRA à compter de 2022 et le rappel des grandes étapes préalables qui ont précédé est joint en annexe.

Considérant la teneur du dossier de DAC, et ses conclusions quant aux garanties apportées par le projet,
Considérant l'impact de l'arrivée de Cigéo sur le territoire, en particulier en matière de retombées économiques et de créations d'emplois,

Considérant néanmoins le caractère particulièrement déterminant du projet en termes d'aménagement du territoire pour les prochaines décennies, qui nécessitera un déploiement concerté et cohérent auquel le Grand Saint-Dizier Der et Vallées se montrera particulièrement attaché en se mobilisant activement au sein du Territoire d'Industries, des groupes de travail et instances de pilotage de Cigéo, ou encore de l'Atelier des Territoires,

Considérant également les incertitudes liées au maintien et au niveau de financements des deux GIP, indispensables au soutien et au développement du tissu industriel et des PME, à l'innovation, au renforcement des compétences, au déploiement des infrastructures et équipements de services à la population,

Considérant les incertitudes liées à la nouvelle fiscalité et à ses conditions de répartition comparativement aux compétences et à la population des collectivités concernées, nécessitant la poursuite des études d'impact et de la recherche de modalités de calcul et de répartition plus équilibrées,

Considérant en conséquence que l'avis favorable du Conseil communautaire implique que l'État apporte des garanties explicites,

Vu le dossier de demande d'autorisation de création du centre de stockage Cigeo,

Vu la demande d'avis formulée par le préfet de la Meuse, préfet coordonnateur du projet Cigeo, par courrier en date du 06 octobre 2025,

Il est proposé au Conseil communautaire :

- d'émettre un avis favorable sur le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo), assorti de l'ensemble des considérants susvisés.

Le Conseil communautaire, après délibération, décide d'émettre un avis favorable par **56 VOIX POUR – 11 CONTRE (M. BOUZON – M. CHARPENTIER – Mme DONATO - Mme DUHALDE – Mme GARCIA – M. KARATAY – Mme KREBS – M. LASSON – M. LAURENT – M. LISSY – M. GAVIER) - 11 ABSTENTIONS (M. BANCELIN – M. BAUDOT – M. BONNEAUD – M. BOSSAN – Mme BOYER-CASTELO – M. COLLIN JP – M. COLIN P – M. HOCQUET – M. JEANSON – M. KREZEL – M. ROUSSEL).**

Pour extrait conforme,

Pour le Président et par délégation
Karine ASSIER
Directrice Générale des Services

2.3.3.6 Avis de la communauté de communes du Bassin de Joinville-en-Champagne

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 14/11/2025 à 16h13
Référence de l'AR : 052-200044253-20251114-1271125-DE
Publié le 14/11/2025 ; Rendu exécutoire le 14/11/2025

Communauté de Communes du Bassin de Joinville en Champagne

Registre de délibérations du conseil

Séance du 12 novembre 2025

Date de la convocation : 04 novembre 2025

L'an deux mille vingt et deux et le mardi 11 octobre, le Conseil communautaire, régulièrement convoqué, s'est réuni au nombre prescrit par la loi, à la salle des fêtes de Joinville, sous la présidence de M. FEVRE Jean-Marc, Président de la Communauté de Communes.

Membres présents :

M. FEVRE Jean-Marc, Président
M. THIERIOT Damien, **M. OLLIVIER** Bertrand, **M. CHAUVELOT** Yves, **M. MARECHAL** Jean-François, **M. ADAM** Bernard, **Mme PIOT** Christelle, **M. MALINGREY** Alain, **M. FRIQUET** Daniel, **M. RENARD** Pascal, **Vice-Présidents**

M. BOURGEOIS Jean-Pierre, **M. LESEUR** Hubert, **M. ROSSIGNON** Pascal, **M. COLLIN** Romain, **M. FAILLET** Jean-Pierre, **M. FUSTINONI** Joseph, **M. THIEBLEMONT** Franck, **M. DUBOIS** Charles, **Mme QUERCY** Rosalia, **M. LESEUR** Osmane, **Mme PAULO** Noémie, **M. LEGER** Jean-Paul, **M. LESEUR** Fabrice, **Mme AUBRY** Brigitte, **M. MALINGRE** Claude, **M. ALVES** DE OLIVEIRA Olivier, **M. TONON** Bruno, **M. DUMAY** Philippe, **Mme FOURNIER** Amandine, **Mme POUGET** Dominique, **M. ROYER** Pierre, **M. BOZETTI** Daniel, **Mme DI TULLIO** Astrid, **M. LAMBERT** Michel, **Mme MARQUELET** Carole, **M. MATTERA** Gérard, **M. NIVELAIS** René, **M. ROZE** Bruno, **M. TAILLANDIER** James, **M. THIEBLEMONT** Christophe, **M. MOULIN** Dominique, **M. LAVENARDE** Hervé, **Mme HUMBLOT** Nathalie, **M. PAINTENDRE** Pascal, **M. MILESI** Giocondo, **M. CHATELOT** Claude, **M. DELBÉ** Philippe, **M. DEPARDIEU** Gilbert, **Mme ACKER** Maryline, **M. JEANJEAN** Yves, **Mme BERTIN** Caroline, **M. MICHEL** Max, **M. DAILLET** Denis, **Mme FADEL** Elodie, **Mme BUROT** Judith, **M. FOUCAULT** Marcel, **M. ROYER** Claude, **M. BOULLÉE** Michel, **Mme TISSOT** Marie-France, **M. VALLON** Jérémy, **M. ROSENBERG** François, **Mme RENOUX** Françoise

Ont donné leur pouvoir :

Mme LANDREAT Estelle pouvoir donné à **Mme QUERCY** Rosalia, **Mme VERRON** Annick pouvoir donné à **M. DELBÉ** Philippe, **M. FEVRE** Benjamin pouvoir donné à **M. THIERIOT** Damien, **M. POE** Olivier pouvoir donné à **Mme POUGET** Dominique, **Mme BRINGAND** Alexandra pouvoir donné à **Mme DI TULLIO** Astrid, **Mme JEAN DIT PANNEL** Sandrine pouvoir donné à **M. OLLIVIER** Bertrand, **M. NEVEU** Philippe pouvoir donné à **M. ADAM** Bernard, **M. EHRHARD** Pierre pouvoir donné à **M. BOULLÉE** Michel, **M. ALBARRAS** Francisco pouvoir donné à **M. FEVRE** Jean-Marc

Absents excusés remplacés :

M. CUNY Eric, **M. VARNIER** Jean-François, **Mme PLANTEGENET** Laure, **M. HUMBLOT** Marcel

A été nommé secrétaire : **M. LESEUR Fabrice**, commune de Doulevant-Le-Château

Nombre de conseillers en exercice : 88	**Nombre de conseillers présents** : 62
Nombre de pouvoirs : 9	**Nombre de conseillers votants** : 70*

*Mme BRINGAND Alexandra ne prend pas part au vote

Délibération n°127_11_2025

ENVIRONNEMENT - AVIS SUR LA DEMANDE D'AUTORISATION DE CREATION D'UN CENTRE DE STOCKAGE EN COUCHE GEOLOGIQUE PROFONDE DE DECHETS RADIOACTIFS DE HAUTE ACTIVITE ET DE MOYENNE ACTIVITE A VIE LONGUE (CIGEO)

VU le Code de l'environnement, et notamment ses articles L. 542-10-1 et R.122-7

VU les décrets n°2022-992 et 2022-993 du 07 juillet 2022, déclarant le projet CIGEO opération d'intérêt national et d'utilité publique ;

VU l'arrêté interpréfectoral n°2025-1972 du 30 septembre 2025, pris en application du décret n°2025-771 du 04 août 2025, listant les collectivités locales et leur groupement consultés ;

VU le courrier reçu le 07 octobre 2025, dans lequel M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet CIGEO, sollicite l'avis de la Communauté de communes du Bassin de Joinville en Champagne sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO) ;

VU le dossier de demande d'autorisation de création, disponible par voie dématérialisés sur le site internet de l'ANDRA, contenant les pièces suivantes :

- Pièces appelées par l'article R.593-16 du Code de l'environnement relatif au dossier de DAC de l'INB : Identification de l'exploitant ; Nature de l'installation ; Carte et plans ; Etude d'impact ; Etude de maîtrise des risques ; Capacités techniques de l'exploitant ; Capacités financières de l'exploitant ; Justification de la maîtrise foncière des terrains ; Servitudes et périmètres de protection et de droit exclusif ; Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance ; Bilan du débat public et de la concertation ; Emission de gaz à effet de serre ; Plan directeur d'exploitation ;
- Pièces appelées par les articles L.123-6 et R.123-8 du code de l'environnement relatifs à l'enquête publique : Présentation non technique ; Informations juridiques et administratives ; Avis émis sur le projet et réponses de l'ANDRA ;
- Pièces non réglementaires ajoutées pour la lisibilité du dossier : Guide de lecture du dossier de demande d'autorisation de création ; Glossaire et acronymes.

CONSIDERANT l'instruction technique réalisée par l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR), faisant l'objet de trois rapports publics et d'un projet d'avis. Il est rappelé que l'ASNR se prononce sur les questions relatives à la sûreté nucléaire et à la protection des personnes et de l'environnement que présente le projet de stockage géologique CIGEO, pour chacune des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive et la phase de long terme.

CONSIDERANT le projet d'avis de l'ASNR, et en particulier les extraits suivants :

- La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de CIGEO, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture, a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique ;
- L'ASNR maintiendra les actions de dialogue avec les parties prenantes concernées. Elle estime par ailleurs opportun que les actions de concertation avec le public soient poursuivies ors es principales étapes de développement du projet, et préalablement à la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote de CIGEO.

CONSIDERANT les jalons suivants, retenus par l'ANDRA pour le développement de CIGEO :

2028 :	Début des travaux de terrassement
Horizon 2035 :	Début des creusements des liaisons surface-fond
Horizon 2040 :	Construction des bâtiments nucléaires
	Creusement des premières alvéoles MA-VL
Horizon 2045 :	Creusement des premières alvéoles HA
Horizon 2050 :	Mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote
Horizon 2150 :	Phase de démantèlement

Après en avoir délibéré, le Conseil Communautaire, à la majorité, décide :

Conseillers présents	*Suffrages exprimés avec pouvoir*	*Pour*	*Contre*	*Abstention*	*Non participant*
62	*9*	*59*	*2* M. Leseur Hubert – M. Chauvelot Yves	*9* *M. Bourgeois JP – Mme Quercy R – M. Leger JP – Mme Aubry B – M. Mattera G – M. Moulin D – Mme Humblot N - M. Paintendre P - M. Daillet D*	*1* *Mme BRINGAND A*

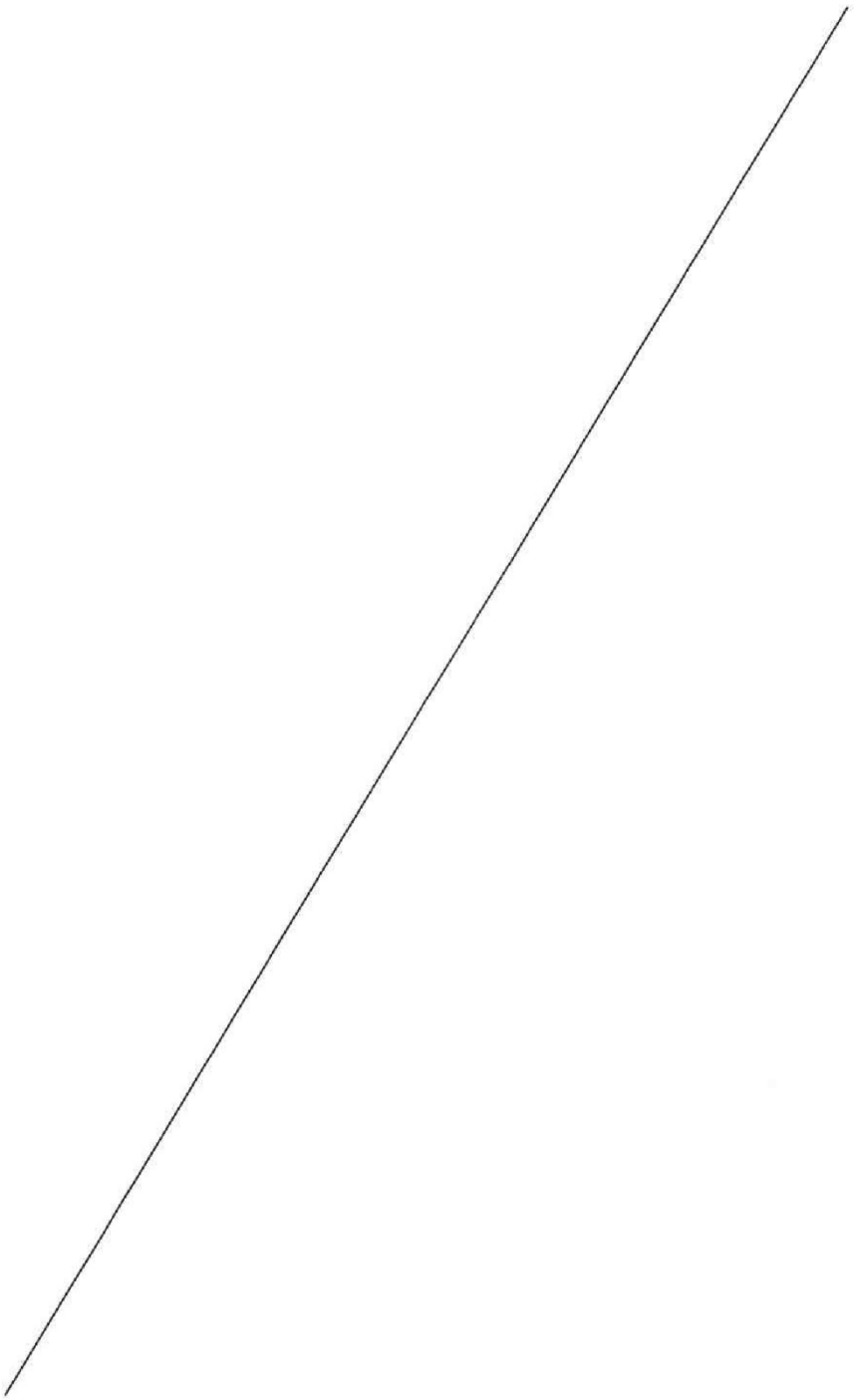
- **De rendre un avis favorable** à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO).
- **De notifier** cet avis à M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet CIGEO, par courrier et par mail.

Acte rendu exécutoire
Après dépôt en Sous-Préfecture le :
Et publication ou notification le :

Pour extrait conforme
Le Président
Jean-Marc FEVRE

Jean-Marc FEVRE
2025.11.14 16:03:12 +0100
Ref:9849637-14845911-1-D
Signature numérique
le Président

JEAN-MARC FEVRE



2.3.3.7 Avis du conseil départemental de la Haute-Marne

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 24 novembre 2025 à 00:00
Référence de l'AR : 052-225200013-20251121-123365-DE-1-1
Publié le 24 novembre 2025 - Affiché le 24 novembre 2025 - Rendu exécutoire le 24 novembre 2025

CONSEIL DEPARTEMENTAL DE LA HAUTE-MARNE

COMMISSION PERMANENTE **Réunion du 21 novembre 2025**	
Direction de l'Aménagement du Territoire	**N° 2025.11.9**
OBJET : **Demande d'avis du Conseil départemental sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue, formulée par l'agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA)**	

Nombre de conseillers départementaux membres de la commission permanente : 34

Présents :
M. Michel ANDRÉ, Mme Rachel BLANC, Mme Céline BRASSEUR, Mme Magali CARTAGENA, Mme Karine COLOMBO, Mme Sylviane DENIS, Mme Astrid DI TULLIO, Mme Brigitte FISCHER-PATRIAT, M. Paul FOURNIÉ, M. Bernard GENDROT, M. Laurent GOUVERNEUR, M. Gérard GROSLAMBERT, Mme Domithile GUINOISEAU, M. Mokhtar KAHLAL, M. Nicolas LACROIX, Mme Marie-Claude LAVOCAT, Mme Anne LEDUC, M. Stéphane MARTINELLI, M. Dominique MERCIER, Mme Véronique MICHEL, M. Bertrand OLLIVIER, Mme Marie-Laure PARISON, Mme Catherine PAZDZIOR-VIGNERON, M. Elie PERRIOT, M. Jean-Michel RABIET, M. Franck RAIMBAULT, Mme Laurence ROBERT-DEHAULT, M. Damien THIERIOT, Mme Dominique VIARD, M. Patrick VIARD.

Quorum : 18

Absents ayant donné procuration :
M. Michel KARAKULA donne pouvoir à Mme Laurence ROBERT-DEHAULT
Mme Anne-Marie NÉDÉLEC donne pouvoir à M. Nicolas LACROIX
Mme Fabienne SCHOLLHAMMER donne pouvoir à M. Damien THIERIOT
M. Dominique THIÉBAUD donne pouvoir à Mme Dominique VIARD

Vu le code général des collectivités territoriales,

Vu le code de l'environnement,

Vu la délibération de la commission permanente du 19 février 2021, émettant un avis favorable sur le dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo,

Vu par délibération de la commission permanente du 19 novembre 2021, émettant un avis favorable sur la création d'une opération d'intérêt national sur les territoires de la Meuse et de la Haute-Marne concernés par le projet Cigéo,

Vu le courrier du Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo, du 8 octobre 2025, sollicitant l'avis du Conseil départemental sur la demande d'autorisation de création déposée par l'ANDRA le 16 janvier 2023 auprès de la ministre chargée de la sécurité nucléaire,

Vu l'avis favorable de la IVe commission,

Vu le rapport de Monsieur le Président du Conseil départemental et après avoir entendu les conclusion de M. Damien THIERIOT, rapporteur au non de la IVème commission,

Considérant l'intérêt, pour le territoire, d'autoriser la création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue, formulée par l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs (ANDRA),

Considérant que les enjeux pour le territoire sont multiples : scientifiques, environnementaux, éthiques, territoriaux et financiers,

LA COMMISSION PERMANENTE
Par 34 voix Pour

DECIDE

- d'émettre un avis favorable à la demande d'autorisation de création formulée par l'ANDRA, dont la communication a été faite par le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo, par courrier reçu au Conseil départemental le 8 octobre 2025.

RÉSULTAT DU VOTE : Adopté à l'unanimité des suffrages exprimés

Chaumont, le 21 novembre 2025

LE PRÉSIDENT,



Nicolas LACROIX

2.3.3.8 Avis d'Echenay

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 28/11/2025 à 15h04
Référence de l'AR : 052-215201294-20251126-2025_35-DE

Département de HAUTE-MARNE
Arrondissement de SAINT DIZIER
Commune d'ECHENAY

Extrait du registre des délibérations du Conseil Municipal
Séance du 26 novembre 2025

Convocation 21/11/2025
Affichage 21/11/2025
Membres en exercice 07
Présents 07
Votants 07

L'an deux mil vingt-cinq le 26 novembre à 19 h 30, le Conseil Municipal légalement convoqué, s'est réuni à la Mairie en séance publique ordinaire sous la présidence de M. Jean-Pierre BOURGEOIS, Maire

Présents : Jean-Pierre BOURGEOIS, Bernard BONTUS, Martine ROBERT, Jean-Paul RUISSEAUX, Jean-Marie FRANCOIS Jean-Claude BOURGEOIS, Loïc BONTUS
Formant la majorité des membres en exercice

Absents : Loïc BONTUS (excusé)
Mme Martine ROBERT a été élue secrétaire de séance

Objet : **N° 35/2025**
Avis sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs HAVL et MAVL

Vu le Code l'environnement et notamment ses articles L.542-10-1 et R.122-7 ;

Vu les décrets N°2022-992 et 2022-993 du 07 juillet 2022 déclarant le projet Cigéo Opération d'Intérêt National (OIN) et d'Utilité Publique (DUP) ;

Vu l'arrêté inter préfectoral N°2025-1972 du 30 septembre 2025 pris en application du décret N°2025-771 du 04 août 2025 listant les collectivités locales et leur groupement consultés ;

Vu le courrier du 06 octobre 2025 dans lequel M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo, sollicite l'avis de la commune d'Aingoulaincourt sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo) ;

Vu le dossier de demande d'autorisation de création disponible par voie dématérialisée sur le site internet de l'Andra et contenant les pièces suivantes :
● Pièces appelées par l'article R.593-16 du Code de l'Environnement relatif au dossier de DAC de l'INB : identification de l'exploitant ; nature de l'installation ; carte et plans ; étude d'impact ; étude de maitrise des risques ; capacité techniques de l'exploitant ; capacités financières de l'exploitant ; justification de la maîtrise foncières des terrains ; servitudes et périmètres de protections et de droit exclusif ; plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance ; bilan du débat public et de concertation ; Emission de gaz à effet de serre ; plan directeur d'exploitation ;
● Pièces appelées par les articles L.123-6 et R.123-8 du code de l'environnement relatifs à l'enquête publique : présentation non technique ; informations juridiques et administratives ; avis émis sur le projet et réponses de l'Andra ;
●Pièces non règlementaires ajoutées pour la lisibilité du dossier : guide de lecture du dossier de demande d'autorisation de création ; glossaire et acronymes.

Considérant l'instruction technique réalisée par l'autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR), faisant l'objet de trois rapports publics et d'un projet d'avis, il est rappelé que l'ASNR se prononce sur les questions relatives à la sûreté nucléaire et à la protection des personnes et de l'environnement que présente le projet de stockage géologique

Département de HAUTE-MARNE
Arrondissement de SAINT DIZIER
Commune d'ECHENAY

Cigéo, pour chacune des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive et la phase de long terme.

Considérant le projet d'avis de l'ASNR et en particulier les extraits suivants
●La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique ;
● L'ASNR maintiendra les actions de dialogue avec les parties prenantes concernées. Elle estime par ailleurs opportun que les actions de concertation avec le public soient poursuivies lors des principales étapes de développement du projet et préalablement à la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote de Cigéo.
Considérant les jalons suivants retenus par l'Andra pour le développement de Cigéo :
2028 : début des travaux de terrassement
Horizon 2035 : début des creusements des liaisons surface-fond
Horizon 2040 : construction des bâtiments nucléaires
creusement des premières alvéoles MA-VL
Horizon 2045 : Creusement des premières alvéoles HA-VL
Horizon 2050 : Mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote
Horizon 2150 : phase de démantèlement

Après en avoir délibéré à 4 voix pour, 1 voix contre et 2 abstentions, le conseil municipal décide :

- de rendre un avis favorable à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue.(Cigéo)

- de notifier cet avis à M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo

Rendu exécutoire à compter du 26 novembre 2025
Dépôt en Sous-Préfecture le 28 novembre 2025
Publication ou notification du 28 novembre 2025

Extrait certifié conforme
ECHENAY
Le Maire

Jean-Pierre BOURGEOIS
2025.11.28 14:51:09 +0100
Ref:9952319-15006520-1-D
Signature numérique
le Maire

Jean-Pierre BOURGEOIS

2.3.3.9 Avis de Germay

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 03/12/2025 à 15h48
Référence de l'AR : 052-215201567-20251126-2025_30-DE

République Française
Département Haute-Marne
Commune de Germay

DELIBERATION DU CONSEIL MUNICIPAL

Séance du 26/11/2025

Nombre de membres		
Afférents	Présents	Qui ont pris part au vote
7	6	6

Vote
A l'unanimité Pour : 6 Contre : 0 Abstention : 0

Acte rendu exécutoire après dépôt en Sous Préfecture de Saint-Dizier
Le : 03/12/2025
Et
Publication ou notification du :
03/12/2025

L'an 2025, le 26 Novembre à 18:30, le Conseil Municipal de la Commune de Commune de Germay s'est réuni à la Salle de convivialité, lieu ordinaire de ses séances, sous la présidence de Monsieur DUMAY Philippe, Maire, en session ordinaire. Les convocations individuelles, l'ordre du jour et les notes explicatives de synthèse ont été transmises par écrit aux conseillers municipaux le 19/11/2025. La convocation et l'ordre du jour ont été affichés à la porte de la Mairie le 19/11/2025.

Présents : M. DUMAY Philippe, Maire, Mmes : GASSMANN Marianne, GASSMANN Marie-Paule, MONTAGNE Laurence, MONTAGNE Nicole, MM : LEMOINE Willy

DURAND Romain, absent

A été nommé(e) secrétaire : Mme MONTAGNE Nicole,

2025-30 – Objet : Avis sur la demande d'autorisation de création du projet CIGEO

VU le Code de l'environnement, et notamment ses articles L. 542-10-1 et R.122-7

VU les décrets n°2022-992 et 2022-993 du 07 juillet 2022, déclarant le projet CIGEO opération d'intérêt national et d'utilité publique ;

VU l'arrêté interpréfectoral n°2025-1972 du 30 septembre 2025, pris en application du décret n°2025-771 du 04 août 2025, listant les collectivités locales et leur groupement consultés ;

VU le courrier reçu le 07 octobre 2025, dans lequel M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet CIGEO, sollicite l'avis de la commune de Germay sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO) ;

VU le dossier de demande d'autorisation de création, disponible par voie dématérialisés sur le site internet de l'ANDRA, contenant les pièces suivantes :

- Pièces appelées par l'article R.593-16 du Code de l'environnement relatif au dossier de DAC de l'INB : Identification de l'exploitant ; Nature de l'installation ; Carte et plans ; Etude d'impact ; Etude de maîtrise des risques ; Capacités techniques de l'exploitant ; Capacités financières de l'exploitant ; Justification de la maîtrise foncière des terrains ; Servitudes et périmètres de protection et de droit exclusif ; Plan de démantèlement, de fermeture et de

surveillance ; Bilan du débat public et de la concertation ; Emission de gaz à effet de serre ; Plan directeur d'exploitation ;

- Pièces appelées par les articles L.123-6 et R.123-8 du code de l'environnement relatifs à l'enquête publique : Présentation non technique ; Informations juridiques et administratives ; Avis émis sur le projet et réponses de l'ANDRA ;
- Pièces non réglementaires ajoutées pour la lisibilité du dossier : Guide de lecture du dossier de demande d'autorisation de création ; Glossaire et acronymes.

Après une présentation en amont du maître d'ouvrage ANDRA du dossier de DAC et de nombreux échanges au sein du conseil municipal

CONSIDERANT l'instruction technique réalisée par l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR), faisant l'objet de trois rapports publics et d'un projet d'avis. Il est rappelé que l'ASNR se prononce sur les questions relatives à la sûreté nucléaire et à la protection des personnes et de l'environnement que présente le projet de stockage géologique CIGEO, pour chacune des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive et la phase de long terme.

CONSIDERANT le projet d'avis de l'ASNR, et en particulier les extraits suivants :

- La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de CIGEO, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture, a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique ;
- L'ASNR maintiendra les actions de dialogue avec les parties prenantes concernées. Elle estime par ailleurs opportun que les actions de concertation avec le public soient poursuivies ors es principales étapes de développement du projet, et préalablement à la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote de CIGEO.

CONSIDERANT les jalons suivants, retenus par l'ANDRA pour le développement de CIGEO :

2028 :	Début des travaux de terrassement
Horizon 2035 :	Début des creusements des liaisons surface-fond
Horizon 2040 :	Construction des bâtiments nucléaires
	Creusement des premières alvéoles MA-VL
Horizon 2045 :	Creusement des premières alvéoles HA
Horizon 2050 :	Mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote
Horizon 2150 :	Phase de démantèlement

Au vu de ces éléments, le Maire propose :

- **De rendre un avis favorable** à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO).
- **De rappeler que les attentes de la commune de GERMAY, en hyper proximité du projet CIGEO, concernent également l'aménagement du territoire en bonne intelligence avec les autres collectivités territoriales**
- **De notifier** cet avis à M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet CIGEO, par courrier et par mail.

Fait et délibéré les jours, mois et an susdits.
Au registre suivent les signatures

Pour copie conforme :
En mairie, le 03/12/2025

Le Maire
Philippe DUMAY

Secrétaire de séance
Mme MONTAGNE Nicole,

Publicité des actes de la commune par publication papier le 03/12/2025

MAIRIE DE GERMAY
52230

2.3.3.10 Avis de Germisay

REPUBLIQUE FRANCAISE
Liberté, Egalité, Fraternité

DEPARTEMENT
De la HAUTE-MARNE
ARRONDISSEMENT
De SAINT-DIZIER
CANTON
De POISSONS

COMMUNE DE GERMISAY -52230-

EXTRAIT DES DELIBERATIONS DU CONSEIL MUNICIPAL EN DATE DU 28 OCTOBRE 2025

Date de convocation
20.10.2025

Date d'affichage

L'an deux mil vingt cinq
Le vingt-huit octobre à dix-huit heures.
Le Conseil Municipal s'est réuni à la Mairie en séance publique sous la présidence de Madame FOURNIER Amandine, Maire.

Etaient présents : Mmes. FOURNIER A. FOURNIER P. VAN DE MENSBRUGGHE S et TALBOT C
Mrs. HURIOT M. VAN DER MENSBRUGGHE L et SUCK F

Nombre de Conseillers

En exercice	7
Présents	7
Votants	7

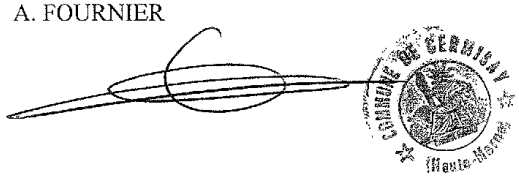
Mr HURIOT M. a été élu secrétaire.

OBJET : CIGEO : AVIS SUR LA DEMANDE D'AUTORISATION DE CREATION (DAC) N°14/10/2025

Suite à la présentation par Madame Fournier Pauline de l'ANDRA et à la lecture du projet d'avis de l'autorité de sureté nucléaire et de radioprotection, Madame le Maire informe le Conseil Municipal qu'ils doivent donner leur avis sur la Demande d'Autorisation de Création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo).

Après délibération, le Conseil Municipal donne un avis favorable à la demande d'autorisation de création de Cigéo

Pour extrait conforme.
A Germisay, le 28.10.2025
Le Maire,
A. FOURNIER



2.3.3.11 Avis de Gillaumé

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 28/11/2025 à 19h18
Référence de l'AR : 052-215201609-20251127-2025_21-DE

DEPARTEMENT DE HAUTE-MARNE
ARRONDISSEMENT DE SAINT DIZIER
COMMUNE DE GILLAUME

Extrait du registre des délibérations du Conseil Municipal
Séance du 27 novembre 2025

Convocation 14/11/2025
Affichage 14/1012025
Membres en exercice 6
Présents 6
Votants 6

L'an deux mil vingt-cinq le 27 novembre à 20 h 00, le Conseil Municipal légalement convoqué, s'est réuni à la Mairie en séance publique sous la présidence de M. Jean-François FONTAINE, Maire
Présents : Jean-François FONTAINE, Olivier KOWALCZYK, Ophélie KOWALCZYK, Rémi FONTAINE, Colette FONTAINE, Sylvain SOSSI,
Formant la majorité des membres en exercice
Absents excusés :

Mme Ophélie KOWALCZYK a été élue Secrétaire

Objet N° 21/2025
Avis sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs HAVL et MAVL

Vu le Code l'environnement et notamment ses articles L.542-10-1 et R.122-7 ;

Vu les décrets N°2022-992 et 2022-993 du 07 juillet 2022 déclarant le projet Cigéo Opération d'Intérêt National (OIN) et d'Utilité Publique (DUP) ;

Vu l'arrêté inter préfectoral N°2025-1972 du 30 septembre 2025 pris en application du décret N°2025-771 du 04 août 2025 listant les collectivités locales et leur groupement consultés ;

Vu le courrier du 06 octobre 2025 dans lequel M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo, sollicite l'avis de la commune d'Aingoulaincourt sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo) ;

Vu le dossier de demande d'autorisation de création disponible par voie dématérialisée sur le site internet de l'Andra et contenant les pièces suivantes :
- Pièces appelées par l'article R.593-16 du Code de l'Environnement relatif au dossier de DAC de l'INB : identification de l'exploitant ; nature de l'installation ; carte et plans ; étude d'impact ; étude de maitrise des risques ; capacité techniques de l'exploitant ; capacités financières de l'exploitant ; justification de la maîtrise foncières des terrains ; servitudes et périmètres de protections et de droit exclusif ; plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance ; bilan du débat public et de concertation ; Emission de gaz à effet de serre ; plan directeur d'exploitation ;
- Pièces appelées par les articles L.123-6 et R.123-8 du code de l'environnement relatifs à l'enquête publique : présentation non technique ; informations juridiques et administratives ; avis émis sur le projet et réponses de l'Andra ;
- Pièces non règlementaires ajoutées pour la lisibilité du dossier : guide de lecture du dossier de demande d'autorisation de création ; glossaire et acronymes.

Considérant l'instruction technique réalisée par l'autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR), faisant l'objet de trois rapports publics et d'un projet d'avis, il est rappelé que l'ASNR se prononce sur les questions relatives à la sûreté nucléaire et à la protection des personnes et de

DEPARTEMENT DE HAUTE-MARNE
ARRONDISSEMENT DE SAINT DIZIER
COMMUNE DE GILLAUME

l'environnement que présente le projet de stockage géologique Cigéo, pour chacune des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive et la phase de long terme.

Considérant le projet d'avis de l'ASNR et en particulier les extraits suivants
●La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique ;
● L'ASNR maintiendra les actions de dialogue avec les parties prenantes concernées. Elle estime par ailleurs opportun que les actions de concertation avec le public soient poursuivies lors des principales étapes de développement du projet et préalablement à la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote de Cigéo.
Considérant les jalons suivants retenus par l'Andra pour le développement de Cigéo :
2028 : début des travaux de terrassement
Horizon 2035 : début des creusements des liaisons surface-fond
Horizon 2040 : construction des bâtiments nucléaires
creusement des premières alvéoles MA-VL
Horizon 2045 : Creusement des premières alvéoles HA-VL
Horizon 2050 : Mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote
Horizon 2150 : phase de démantèlement

Après en avoir délibéré à l'unanimité, le conseil municipal décide :

- de rendre un avis favorable à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue.(Cigéo)

- de notifier cet avis à M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo

Rendu exécutoire à compter du 27 novembre 2025
Dépôt en Sous-Préfecture le 27 novembre 2025
Publication ou notification du 27 novembre 2025

Extrait certifié conforme
Le Maire

Jean-Francois FONTAINE
2025.11.28 17:32:00 +0100
Ref:9955025-15010905-1-D
Signature numérique
le Maire

JEAN-FRANCOIS FONTAINE

2.3.3.12 Avis de Lezéville

République Française
Département Haute-Marne
Commune de LEZEVILLE

DELIBERATION DU CONSEIL MUNICIPAL

Séance du 28/10/2025

Nombre de membres		
Afférents	Présents	Qui ont pris part au vote
8	5	5

Vote
Aucun Pour : 5 Contre : 0 Abstention : 1

Acte rendu exécutoire après dépôt en
Le : 17/11/2025
Et
Publication ou notification du :
17/11/2025

L'an 2025, le 28 Octobre à 18:00, le Conseil Municipal de la Commune de Commune de LEZEVILLE s'est réuni à la MAIRIE DE LEZEVILLE, lieu ordinaire de ses séances, sous la présidence de Madame CHAILLARD Aurélia, Conseiller, en session ordinaire. Les convocations individuelles, l'ordre du jour et les notes explicatives de synthèse ont été transmises par écrit aux conseillers municipaux le 20/10/2025. La convocation et l'ordre du jour ont été affichés à la porte de la Mairie le 20/10/2025.

Présents : M. THIERIOT Damien, Maire, MM : JEANJEAN Bernard, JEANJEAN François, MASSON Michel, SUCK Christophe, SUCK Pierre,

Mme CHAILLARD Aurélia, absente, M. THILLY Gérard absent excusés

A été nommé(e) secrétaire : M.SUCK Christophe,

2025-37 – Objet : Avis sur la demande d'autorisation de création du projet CIGEO

VU le Code de l'environnement, et notamment ses articles L. 542-10-1 et R.122-7

VU les décrets n°2022-992 et 2022-993 du 07 juillet 2022, déclarant le projet CIGEO opération d'intérêt national et d'utilité publique ;

VU l'arrêté interpréfectoral n°2025-1972 du 30 septembre 2025, pris en application du décret n°2025-771 du 04 août 2025, listant les collectivités locales et leur groupement consultés ;

VU le courrier reçu le 07 octobre 2025, dans lequel M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet CIGEO, sollicite l'avis de la commune de Lezéville sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO) ;

VU le dossier de demande d'autorisation de création, disponible par voie dématérialisés sur le site internet de l'ANDRA, contenant les pièces suivantes :

- Pièces appelées par l'article R.593-16 du Code de l'environnement relatif au dossier de DAC de l'INB : Identification de l'exploitant ; Nature de l'installation ; Carte et plans ; Etude d'impact ; Etude de maîtrise des risques ; Capacités techniques de l'exploitant ; Capacités financières de l'exploitant ; Justification de la maîtrise foncière des terrains ; Servitudes et périmètres de protection et de droit exclusif ; Plan de démantèlement, de fermeture et de

surveillance ; Bilan du débat public et de la concertation ; Emission de gaz à effet de serre ; Plan directeur d'exploitation ;

- Pièces appelées par les articles L.123-6 et R.123-8 du code de l'environnement relatifs à l'enquête publique : Présentation non technique ; Informations juridiques et administratives ; Avis émis sur le projet et réponses de l'ANDRA ;
- Pièces non réglementaires ajoutées pour la lisibilité du dossier : Guide de lecture du dossier de demande d'autorisation de création ; Glossaire et acronymes.

Après une présentation en amont du maître d'ouvrage ANDRA du dossier de DAC et de nombreux échanges au sein du conseil municipal

CONSIDERANT l'instruction technique réalisée par l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR), faisant l'objet de trois rapports publics et d'un projet d'avis. Il est rappelé que l'ASNR se prononce sur les questions relatives à la sûreté nucléaire et à la protection des personnes et de l'environnement que présente le projet de stockage géologique CIGEO, pour chacune des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive et la phase de long terme.

CONSIDERANT le projet d'avis de l'ASNR, et en particulier les extraits suivants :

- La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de CIGEO, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture, a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique ;
- L'ASNR maintiendra les actions de dialogue avec les parties prenantes concernées. Elle estime par ailleurs opportun que les actions de concertation avec le public soient poursuivies ors es principales étapes de développement du projet, et préalablement à la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote de CIGEO.

CONSIDERANT les jalons suivants, retenus par l'ANDRA pour le développement de CIGEO :

2028 :	Début des travaux de terrassement
Horizon 2035 :	Début des creusements des liaisons surface-fond
Horizon 2040 :	Construction des bâtiments nucléaires
	Creusement des premières alvéoles MA-VL
Horizon 2045 :	Creusement des premières alvéoles HA
Horizon 2050 :	Mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote
Horizon 2150 :	Phase de démantèlement

Au vu de ces éléments, le Maire propose :

- **De rendre un avis favorable** à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO).

- **De rappeler que les attentes de la commune de Lezéville, en hyper proximité du projet CIGEO, concernent également l'aménagement du territoire en bonne intelligence avec les autres collectivités territoriales**
- **De notifier** cet avis à M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet CIGEO, par courrier et par mail.

Fait et délibéré les jours, mois et an susdits.
Au registre suivent les signatures

Pour copie conforme :
En mairie, le 17/11/2025

Le Maire
Damien THIERIOT

Secrétaire de séance
M.SUCK Christophe,

Publicité des actes de la commune par publication papier le 17/11/2025

2.3.3.13 Avis de Montreuil-sur-Thonnance

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 24/10/2025 à 15h30
Référence de l'AR : 052-215202425-20251023-20251001_1-DE

République Française ***** Département de la Haute-Marne

DELIBERATION

CONSEIL MUNICIPAL

Commune de Montreuil-sur-Thonnance

*****

SEANCE DU 23 OCTOBRE 2025

Nombre de Membres		
Membres en exercice	Présents	Votants
7	5	5 + 2 pouvoirs

Date de convocation 10 octobre 2025

L'an deux mille vingt-cinq, le vingt-trois octobre à dix-huit heures trente, le Conseil municipal, régulièrement convoqué, s'est réuni au nombre prescrit par la loi, en Conseil municipal, qui a eu lieu salle du conseil, sous la présidence de **Hervé LAVENARDE**, Maire.

Présents : **DELBE Bernadette, DELBE Gérard, DELBE Maxime, LAVENARDE Hervé, SALEUR Françoise.**

Absents : **.**

Représentés : **ROEHRIG Maëva pouvoir donné à SALEUR Françoise, ROEHRIG Steven pouvoir donné à LAVENARDE Hervé.**

Monsieur DELBE Maxime a été nommé secrétaire de séance.

Objet : Présentation du Projet cigéo + Avis concernant la demande d'autorisation de création du centre de stockage géologique en couche profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (projet Cigéo).
N° de délibération : 20251001

Conseillers présents	*Suffrages exprimés avec pouvoir*	*Pour*	*Contre*	*Abstention*	*Non participant*
5	*2*	*7*	*0*	*0*	*0*

Vu le Code général des collectivités territoriales, notamment ses articles L. 2121-29 et suivants relatifs aux attributions du conseil municipal ;
Vu le Code de l'environnement, notamment les dispositions relatives aux installations nucléaires de base et à la gestion des déchets radioactifs ;
Vu la demande d'autorisation de création du centre Cigéo présentée par l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) ;
Vu la consultation des collectivités territoriales concernées par le projet, lancée par le Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires ;
Vu le dossier de demande d'autorisation mis à disposition de la commune ;

Considérant

- que le projet Cigéo vise à stocker en couche géologique profonde les déchets radioactifs de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) produits par les installations nucléaires françaises ;
- que ce projet, situé sur les territoires des communes de Bure (Meuse) et Saudron (Haute-Marne), constitue un élément majeur de la politique nationale de gestion des déchets radioactifs ;
- que la commune de Montreuil sur Thonnance est concernée au titre de la consultation publique organisée dans le cadre de la procédure d'autorisation ;
- que le dossier soumis à consultation présente les mesures de sûreté, de suivi environnemental et de développement territorial associées à la mise en œuvre du projet ;
- que le Conseil Municipal estime que le projet répond aux exigences de sûreté et de protection de l'environnement fixées par la réglementation ;
- qu'il apparaît également que le projet est susceptible de contribuer positivement au dynamisme économique du territoire concerné ;

Après en avoir délibéré, le Conseil Municipal :

☞ **Émet un avis favorable à l'unanimité** à la demande d'autorisation de création du centre de stockage géologique en couche profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (projet Cigéo).

Le Conseil Municipal souhaite que l'État et l'ANDRA poursuivent leurs actions d'information, de concertation et de transparence auprès des collectivités et des populations locales, et que le suivi environnemental du projet fasse l'objet d'une communication régulière et accessible à tous.

Fait et délibéré les jour, mois et an susdits.
Pour extrait conforme
Affiché le 24 octobre 2025
Hervé LAVENARDE,
Maire



Herve LAVENARDE
2025.10.24 15:02:45 +0200
Ref:9725271-14649877-1-D
Signature numérique
le Maire

2.3.3.14 Avis de Pansey

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 04/12/2025 à 18h02
Référence de l'AR : 052-215202714-20251202-2025_18-DE

DEPARTEMENT DE HAUTE-MARNE
ARRONDISSEMENT DE SAINT DIZIER
COMMUNE DE PANSEY

Extrait du registre des délibérations du Conseil Municipal
Séance du 02 décembre 2025

Convocation
27/11/2025
Affichage
27/11/2025
Membres en exercice
5
Présents
5
Votants
5

L'an deux mil vingt-cinq et le 02 décembre à 18 h 30, le Conseil Municipal légalement convoqué, s'est réuni à la Mairie en séance publique ordinaire, sous la présidence de M. Philippe DELBE, Maire

Présents : Philippe DELBE, Stéphane LABREVEUX, Sabine GARINOT, Julien GARINOT, Joël LABREVEUX,
Formant la majorité des membres en exercice

Absents :

M. Julien GARINOT a été élu Secrétaire de séance

Objet N° 18/2025
Avis sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs HAVL et MAVL

Vu le Code l'environnement et notamment ses articles L.542-10-1 et R.122-7 ;

Vu les décrets N°2022-992 et 2022-993 du 07 juillet 2022 déclarant le projet Cigéo Opération d'Intérêt National (OIN) et d'Utilité Publique (DUP) ;

Vu l'arrêté inter préfectoral N°2025-1972 du 30 septembre 2025 pris en application du décret N°2025-771 du 04 août 2025 listant les collectivités locales et leur groupement consultés ;

Vu le courrier du 06 octobre 2025 dans lequel M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo, sollicite l'avis de la commune d'Aingoulaincourt sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo) ;

Vu le dossier de demande d'autorisation de création disponible par voie dématérialisée sur le site internet de l'Andra et contenant les pièces suivantes :
- Pièces appelées par l'article R.593-16 du Code de l'Environnement relatif au dossier de DAC de l'INB : identification de l'exploitant ; nature de l'installation ; carte et plans ; étude d'impact ; étude de maitrise des risques ; capacité techniques de l'exploitant ; capacités financières de l'exploitant ; justification de la maîtrise foncières des terrains ; servitudes et périmètres de protections et de droit exclusif ; plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance ; bilan du débat public et de concertation ; Emission de gaz à effet de serre ; plan directeur d'exploitation ;
- Pièces appelées par les articles L.123-6 et R.123-8 du code de l'environnement relatifs à l'enquête publique : présentation non technique ; informations juridiques et administratives ; avis émis sur le projet et réponses de l'Andra ;
- Pièces non règlementaires ajoutées pour la lisibilité du dossier : guide de lecture du dossier de demande d'autorisation de création ; glossaire et acronymes.

Considérant l'instruction technique réalisée par l'autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR), faisant l'objet de trois rapports publics et d'un projet d'avis, il est rappelé que l'ASNR se prononce sur les questions relatives à la sûreté nucléaire et à la protection des personnes et de l'environnement que présente le projet de stockage géologique Cigéo, pour chacune des différentes étapes de sa gestion, y compris sa

DEPARTEMENT DE HAUTE-MARNE
ARRONDISSEMENT DE SAINT DIZIER
COMMUNE DE PANSEY

fermeture définitive et la phase de long terme.

Considérant le projet d'avis de l'ASNR et en particulier les extraits suivants
●La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique ;
● L'ASNR maintiendra les actions de dialogue avec les parties prenantes concernées. Elle estime par ailleurs opportun que les actions de concertation avec le public soient poursuivies lors des principales étapes de développement du projet et préalablement à la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote de Cigéo.
Considérant les jalons suivants retenus par l'Andra pour le développement de Cigéo :
2028 : début des travaux de terrassement
Horizon 2035 : début des creusements des liaisons surface-fond
Horizon 2040 : construction des bâtiments nucléaires
creusement des premières alvéoles MA-VL
Horizon 2045 : Creusement des premières alvéoles HA-VL
Horizon 2050 : Mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote
Horizon 2150 : phase de démantèlement

Après en avoir délibéré à l'unanimité, le conseil municipal décide :

- de rendre un avis favorable à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue.(Cigéo)

- de notifier cet avis à M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo

.

Rendu exécutoire à compter du 02 décembre 2025
Dépôt en Sous-Préfecture le 04 décembre 2025
Publication ou notification du 04 décembre 2025

Extrait certifié conforme
PANSEY
Le Maire



Philippe DELBE
2025.12.04 17:34:14 +0100
Ref.10002676-15083297-1-D
Signature numérique
le Maire

2.3.3.15 Avis de Paroy-sur-Saulx

République Française
Département Haute-Marne
Paroy-sur-Saulx

DELIBERATION DU CONSEIL MUNICIPAL

Séance du 27/11/2025

Nombre de membres		
Afférents	Présents	Qui ont pris part au vote
5	5	5

Vote
Aucun Pour : 3 Contre : 2 Abstention : 0

Acte rendu exécutoire après dépôt en Sous-Préfecture
Le : 01/12/2025
Et
Publication ou notification du :
01/12/2025

L'an 2025, le 27 Novembre à 20:00, le Conseil Municipal de la Commune de Paroy-sur-Saulx s'est réuni à la Mairie, lieu ordinaire de ses séances, sous la présidence de Monsieur DEPARDIEU Gilbert, Maire, en session ordinaire. Les convocations individuelles, l'ordre du jour et les notes explicatives de synthèse ont été transmises par écrit aux conseillers municipaux le 10/11/2025. La convocation et l'ordre du jour ont été affichés à la porte de la Mairie le 10/11/2025.

Présents : M. DEPARDIEU Gilbert, Maire, Mmes : BELLO Nathalie, PEUREUX Claire, MM : BEERNAERT Gérard, PEUREUX Jean-François

A été nommé(e) secrétaire : M.BEERNAERT Gérard,

2025_016 – Avis projet CIGEO

Après avoir entendu l'exposé fait par Mme FOURNIER , le conseil municipal après en avoir délibéré par 2 voix contre et 3 voix pour, donne un avis favorable à la demande d'autorisation de création d'un centrer de stockage en couche géologique profonde pour les déchets radioactifs.
de haute activité ,mais émet des réserves quant aux nuisances sonores, lumineuses, fines particules, transports et se réfère à l'avis de ASNR.

Reçu à la Sous-Préfecture de SAINT-DIZIER
Le 02 DEC 2025

Fait et délibéré les jours, mois et an susdits.
Au registre suivent les signatures

Pour copie conforme :
En mairie, le 01/12/2025

Le Maire
Gilbert DEPARDIEU

MAIRIE de PAROY-SUR-SAULX HAUTE-MARNE

Secrétaire de séance
M.BEERNAERT Gérard,

Publicité des actes de la commune par publication papier le 01/12/2025

2.3.3.16 Avis de Poissons

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 28/10/2025 à 14h04
Référence de l'AR : 052-215202854-20251027-2025_26-DE

République Française
*****
Département de la Haute-Marne

DELIBERATION
CONSEIL MUNICIPAL
Commune de Poissons
*****
SEANCE DU 27 OCTOBRE 2025

Nombre de Membres		
Membres en exercice	Présents	Votants
14	12	12 + 1 pouvoir

Date de convocation
16 octobre 2025

L'an deux mille vingt-cinq, le vingt-sept octobre à dix-huit heures trente, le CONSEIL MUNICIPAL, régulièrement convoqué, s'est réuni au nombre prescrit par la loi, en CONSEIL MUNICIPAL, qui a eu lieu en Mairie, sous la présidence de **Bernard ADAM**, Maire.

Présents : **Maryline ACKER, Bernard ADAM, Pierril BUGNOT, Jean-Pierre CARBOGNANI, Marie-Odile DELAVAL, Gérard GRODARD, Gérald HAVETTE, Yves JEANJEAN, Philippe JOIRE, Jean-Pierre MALASPINA, Isabelle PIERROT, Fabrice ROSSI.**

Absents : **Mélanie GALICHER.**

Représentés : **Yannick ROZE pouvoir donné à Fabrice ROSSI.**

Madame Isabelle PIERROT a été nommée secrétaire de séance.

Objet : Avis concernant la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo) - Exposé du dossier par un intervenant de l'ANDRA
N° de délibération : 2025_26

Conseillers présents	*Suffrages exprimés avec pouvoir*	*Pour*	*Contre*	*Abstention*	*Non participant*
12	*1*	*11*	*1*	*1*	*0*

Le Maire rappelle que l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA) a déposé, le 16 janvier 2023, auprès du ministre chargé de la sûreté nucléaire, un dossier de demande de d'autorisation de création (DAC) d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo). Ce projet a été déclaré opération d'intérêt national et d'utilité publique, par décrets n° 2022-992 et n° 2022-993 du 7 juillet 2022.

Conformément aux dispositions de l'article R.593-21 du Code de l'Environnement, M. le Préfet de la Meuse, (préfet coordonnateur pour le projet Cigéo) est en charge de solliciter l'avis des collectivités territoriales et de leurs groupements.

Après exposé de Mmes Dominique MAIRE et Pauline FOURNIER de l'ANDRA sur ce projet M. le Maire invite le Conseil Municipal à émettre un avis.

Après en avoir délibéré, le Conseil Municipal émet un avis **FAVORABLE** sur ce projet (11 voix pour 1 contre et 1 abstention).

Fait et délibéré les jour, mois et an susdits.
Pour extrait conforme
Affiché le 28 octobre 2025
Bernard ADAM,
Maire

MAIRIE DE POISSONS
HAUTE-MARNE

2.3.3.17 Avis de Sailly

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 02/12/2025 à 15h22
Référence de l'AR : 052-215203183-20251128-2025_26-DE

Département de HAUTE-MARNE
Arrondissement de SAINT DIZIER
Commune de SAILLY

Extrait du registre des délibérations du Conseil Municipal
Séance du 28 novembre 2025

Convocation 24/11/2025
Date affichage 24/11/2025
Membres en exercice 7
Présents 4
Votants 4

L'an deux mil vingt-cinq le 28 novembre à 19 h30, le Conseil Municipal légalement convoqué, s'est réuni à la Mairie en séance publique sous la présidence de Mme Elodie FADEL, Maire

Présents : Elodie FADEL, Éric DORE, Marie PIFFRE, Delphine BERTON
Formant la majorité des membres en exercice
Absents : Amandine HOSSANN, Rudy FADEL, Delphine JACQUOT,

Pouvoirs :
Mme Marie PIFFRE a été désignée secrétaire de séance

Objet **N° 26/2025**

Avis sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs HAVL et MAVL

Vu le Code l'environnement et notamment ses articles L.542-10-1 et R.122-7 ;

Vu les décrets N°2022-992 et 2022-993 du 07 juillet 2022 déclarant le projet Cigéo Opération d'Intérêt National (OIN) et d'Utilité Publique (DUP) ;

Vu l'arrêté inter préfectoral N°2025-1972 du 30 septembre 2025 pris en application du décret N°2025-771 du 04 août 2025 listant les collectivités locales et leur groupement consultés ;

Vu le courrier du 06 octobre 2025 dans lequel M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo, sollicite l'avis de la commune d'Aingoulaincourt sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo) ;

Vu le dossier de demande d'autorisation de création disponible par voie dématérialisée sur le site internet de l'Andra et contenant les pièces suivantes :
- Pièces appelées par l'article R.593-16 du Code de l'Environnement relatif au dossier de DAC de l'INB : identification de l'exploitant ; nature de l'installation ; carte et plans ; étude d'impact ; étude de maitrise des risques ; capacité techniques de l'exploitant ; capacités financières de l'exploitant ; justification de la maîtrise foncières des terrains ; servitudes et périmètres de protections et de droit exclusif ; plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance ; bilan du débat public et de concertation ; Emission de gaz à effet de serre ; plan directeur d'exploitation ;
- Pièces appelées par les articles L.123-6 et R.123-8 du code de l'environnement relatifs à l'enquête publique : présentation non technique ; informations juridiques et administratives ; avis émis sur le projet et réponses de l'Andra ;
- Pièces non règlementaires ajoutées pour la lisibilité du dossier : guide de lecture du dossier de demande d'autorisation de création ; glossaire et acronymes.

Département de HAUTE-MARNE
Arrondissement de SAINT DIZIER
Commune de SAILLY

Considérant l'instruction technique réalisée par l'autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR), faisant l'objet de trois rapports publics et d'un projet d'avis, il est rappelé que l'ASNR se prononce sur les questions relatives à la sûreté nucléaire et à la protection des personnes et de l'environnement que présente le projet de stockage géologique Cigéo, pour chacune des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive et la phase de long terme.

Considérant le projet d'avis de l'ASNR et en particulier les extraits suivants
●La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique ;
● L'ASNR maintiendra les actions de dialogue avec les parties prenantes concernées. Elle estime par ailleurs opportun que les actions de concertation avec le public soient poursuivies lors des principales étapes de développement du projet et préalablement à la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote de Cigéo.
Considérant les jalons suivants retenus par l'Andra pour le développement de Cigéo :
2028 : début des travaux de terrassement
Horizon 2035 : début des creusements des liaisons surface-fond
Horizon 2040 : construction des bâtiments nucléaires
creusement des premières alvéoles MA-VL
Horizon 2045 : Creusement des premières alvéoles HA-VL
Horizon 2050 : Mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote
Horizon 2150 : phase de démantèlement

Après en avoir délibéré à 1 voix pour (Elodie FADEL) la voix du Maire étant prépondérante, 1 voix contre (Delphine BERTON) et 2 abstentions (Eric DORE et Marie PIFFRE), le conseil municipal décide :

- de rendre un avis favorable à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue. (Cigéo)

- de notifier cet avis à M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet Cigéo

Rendu exécutoire à compter du 28 novembre 2025
Dépôt en Sous-Préfecture le 02 décembre 2025
Publication ou notification du 02 décembre 2025

Extrait certifié conforme

Le Maire

Elodie FADEL
2025.12.02 15:04:29 +0100
Ref:9975332-15041915-1-D
Signature numérique
la Maire

Elodie FADEL

2.3.3.18 Avis de Saudron

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 15/12/2025 à 17h58
Référence de l'AR : 052-215203332-20251205-2025_43_1-DE

Département de HAUTE-MARNE
Arrondissement de SAINT DIZIER
Commune de SAUDRON

Extrait du registre des délibérations du Conseil Municipal
Séance du 05 décembre 2025

Convocation 01/12/2025
Affichage 01/12/2025
Membres en exercice 6
Présents 6
Votants 6

L'an deux mil vingt-cinq le 05 décembre à 10h00, le conseil municipal, légalement convoqué, s'est réuni à la Mairie en séance publique sous la présidence de M. Jean-François MARECHAL, Maire.
Présents : Jean- François MARECHAL, François MALTRUD, Gisèle VAUTROT, Cyril MACHROUH, Thierry STIVALET, Fabrice DROUHIN,

Formant la majorité des membres en exercice
Absents :
Pouvoir :

Mme Gisèle VAUTROT a été désignée secrétaire de séance

Objet N° 43/2025
Avis sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs HAVL et MAVL

VU la délibération n° 09/2021 du 02 mars 2021, rendant l'avis de la commune de Saudron sur la Déclaration d'Utilité Publique du projet CIGEO, favorable sous réserves.

CONSIDERANT la présentation du dossier de Demande d'Autorisation de Création, réalisée par Monsieur Patrice TORRES, Directeur Industriel et des Activités du Grand Est (ANDRA) le 12 novembre 2025, auprès des membres du conseil municipal ;

CONSIDERANT que, dans le cadre du projet CIGEO, le territoire communal de Saudron est concerné en particulier par l'aménagement du secteur « descenderie » ;

Après en avoir délibéré à l'unanimité, le conseil municipal décide de rendre un avis favorable à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue. (Cigéo) conditionné à la levée des réserves suivantes :

Au regard des inondations vécues le 21 janvier 2004 et le 29 juin 2024 sur le territoire communal, et en particulier les niveaux d'eaux constatés au sein du village, l'équipe municipale questionne le modèle utilisé dans l'étude d'impact pour évaluer les incidences résiduelles sur le risque inondation dans le bassin versant de l'Orge (figures 5-43 et 5-44 du Volume 4 Chapitre 5 de l'étude d'impact).

Si l'étude d'impact évalue les nuisances générées pendant la phase chantier de façon thématique et exhaustive, le conseil municipal rappelle que l'acceptabilité des nuisances associées aux travaux demeure très subjective et variable selon le mode de vie de chacun. Il apparaît important de travailler à l'acceptabilité de cette période par les habitants de l'hyper-proximité. Pour cela, l'équipe municipale demande que l'ANDRA poursuive la concertation avec la population locale, en organisant par exemple des visites de chantier et des ateliers d'information in situ.

Concernant la santé humaine et plus particulièrement les voies d'exposition considérées, le conseil municipal souligne que l'étude d'impact omet le lien existant entre le ruisseau de l'Orge et la source de Massonfosse. En effet, il apparaît inexact de considérer que le ruisseau de l'Orge ne concourt

Département de HAUTE-MARNE
Arrondissement de SAINT DIZIER
Commune de SAUDRON

pas, indirectement, à l'alimentation en eau potable des habitants (Volume 6, Incidences sur la santé humaine, 3.1.3.1.3 a)).

Concernant le réseau routier, le conseil municipal réaffirme sa position quant à privilégier le scénario de déviation de proximité de la route départementale 960. L'étude d'impact de ce scénario devra intégrer les aménagements sécuritaires à réaliser pour la traversée du village de Saudron.

Rendu exécutoire à compter du 05 décembre 2025
Dépôt en Sous-Préfecture le
Publication ou notification du

Extrait certifié conforme
SAUDRON
Le Maire

Jean-Francois MARECHAL
2025.12.15 17:39:14 +0100
Ref:10083345-15203603-1-D
Signature numérique
le Maire

Jean-Francois MARECHAL

2.3.3.19 Avis de Suzannecourt

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 05/11/2025 à 14h20
Référence de l'AR : 052-215203456-20251023-05_2025_01-DE

République Française
*****
Département de la Haute-Marne

DELIBERATION
CONSEIL MUNICIPAL
Commune de Suzannecourt
*****
SEANCE DU 23 OCTOBRE 2025

Nombre de Membres		
Membres en exercice	Présents	Votants
11	9	9

Date de convocation
15 octobre 2025

L'an deux mille vingt-cinq, le vingt-trois octobre à vingt heures trente, le Conseil municipal, régulièrement convoqué, s'est réuni au nombre prescrit par la loi, en Conseil municipal, qui a eu lieu en Mairie, sous la présidence de **Michel BOULLEE**, Maire.

Présents : **BARTHELEMY Sylvette, BERGUER Carole, BOULLEE Michel, EHRHARD Pierre, ETIENNE Florent, GODARD Angélique, JEANNIOT Séverine, MOGIN Jean-Marie, VICHARD Marc.**

Absents : **DEVOY Christophe, VICHARD Michel.**

Madame BERGUER Carole a été nommée secrétaire de séance.

Objet : CIGÉO : Avis sur la demande d'autorisation de création (DAC)
N° de délibération : 05_2025_01

Suite à la présentation par l'ANDRA et à la lecture du projet d'avis de l'autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection, Monsieur le Maire informe le Conseil Municipal qu'ils doivent donner leur avis sur la Demande d'Autorisation de Création (DAC) d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité (Cigéo).

Après délibération, le Conseil Municipal donne un avis favorable à la demande d'autorisation de création de Cigéo.

Fait et délibéré les jour, mois et an susdits.
Pour extrait conforme
Affiché le 4 novembre 2025
Michel BOULLEE,
Maire

Michel BOULLEE
2025.11.05 14:00:58 +0100
Ref:9792856-14756239-1-D
Signature numérique
le Maire

MICHEL BOULLEE

MAIRIE DE SUZANNECOURT
CONSEIL MUNICIPAL

2.3.3.20 Avis de Thonnance-lès-Joinville

Copie pour impression
Réception au contrôle de légalité le 27/11/2025 à 16h48
Réference de l'AR : 052-215203506-20251124-2025_034-DE
Publié le 27/11/2025 ; Rendu exécutoire le 27/11/2025

République Française
Département Haute-Marne
Thonnance-Lès-Joinville

EXTRAIT D'UNE DELIBERATION DU CONSEIL MUNICIPAL

Séance du 24/11/2025

Nombre de membres		
Afférents	Présents	Qui ont pris part au vote
11	11	10

Vote
A la majorité Pour : 10 Contre : 0 Abstention : 1

Acte rendu exécutoire après dépôt en Sous-Préfecture de Saint-Dizier
Le : 27/11/2025
Et
Publication ou notification du :

L'an 2025, le 24 Novembre à 18:00, le Conseil Municipal de la Commune de Thonnance-Lès-Joinville s'est réuni à la , lieu ordinaire de ses séances, sous la présidence de Monsieur MALINGREY Alain, Maire, en session ordinaire. Les convocations individuelles, l'ordre du jour et les notes explicatives de synthèse ont été transmises par écrit aux conseillers municipaux le 17/11/2025. La convocation et l'ordre du jour ont été affichés à la porte de la Mairie le 17/11/2025.

Présents : M. MALINGREY Alain, Maire, Mmes : FLOQUET Priscillia, MALINGREY Janique, PIONNIER Evelyne, STOKER Yolande, TISSOT Marie-France, MM : BARBIER Fabien, GUERINOT André, LECOMTE Didier, MORANT Gérard, VALLON Jérémy

A été nommé(e) secrétaire : Mme PIONNIER Evelyne

2025_034 – Demande d'avis concernant la DAC de Cigéo

La commune est située sur le territoire proche de Cigéo, dans le périmètre des dix kilomètres du centre des installations souterraines et est nominée par le préfet coordinateur du projet Cigéo, pour une demande d'avis concernant cette demande d'autorisation.
Il est rappelé l'objectif de cette installation qui consiste à mettre en sécurité les déchets radioactifs les plus dangereux issus des centrales nucléaires en zone profonde entre 550 mètres et 450 mètres. Les déchets déjà produits, sont entreposés de manière temporaire sur leurs sites de production. C'est pourquoi, il est nécessaire de protéger les générations futures, en stockant les déchets radioactifs de façon sûre et à très long terme et garantir durablement la santé humaine et l'environnement.
Après réflexion de l'assemblée délibérante, il a été convenu d'assurer une pérennité sur cet avis face à une dangerosité s'étendant sur plusieurs milliers d'années soulève des défis spécifiques, mais en contrepartie des recommandations d'experts, d'instances techniques et scientifiques ont été proposées. (ASRN)
Un point rassurant est la phase industrielle pilote prévue sur 30 ans qui permet d'ajuster la sûreté avant la fermeture définitive et d'intégrer le retour d'expérience.

Il est important de prévoir des dispositifs d'archivage afin que la dangerosité soit connue des générations futures.
Nous émettons donc un avis favorable avec réserves que tous les scénarios accidentels et post accidentels susceptibles de survenir fassent l'objet d'études complémentaires en cas d'événements imprévus sur une temporalité de la même durée que les colis à vie longue.
Cette délibération validée à la majorité des membres moins une abstention.
M. le maire est chargé d'effectuer les démarches administratives relatives à la présente délibération.

Fait et délibéré les jours, mois et an susdits.
Au registre suivent les signatures

Pour copie conforme :
En mairie, le 27/11/2025
Le Maire
Alain MALINGREY



2.3.3.21 Avis de Thonnance-les-Moulins

République Française
Département Haute-Marne
COMMUNE DE THONNANCE LES MOULINS

DELIBERATION DU CONSEIL MUNICIPAL

Séance du 26/11/2025

Nombre de membres		
Afférents	Présents	Qui ont pris part au vote
8	7	7

Vote
A l'unanimité Pour : 7 Contre : 0 Abstention : 0

Acte rendu exécutoire après dépôt en Sous-Préfecture
Le : 27/11/2025
Et
Publication ou notification du : 27/11/2025

L'an 2025, le 26 Novembre à 18:30, le Conseil Municipal de la Commune de COMMUNE DE THONNANCE LES MOULINS s'est réuni à la salle de la mairie, lieu ordinaire de ses séances, sous la présidence de Monsieur FRANCAIS Lionel, Maire, en session ordinaire. Les convocations individuelles, l'ordre du jour et les notes explicatives de synthèse ont été transmises par écrit aux conseillers municipaux le 23/10/2025. La convocation et l'ordre du jour ont été affichés à la porte de la Mairie le 23/10/2025.

Présents : M. FRANCAIS Lionel, Maire, Mmes : BORDOT Eliane, FONTAINE Aude, MM : BURNEL Julien, GUILLAUMEE Stéphane, SCANDOLERA Christophe, SPECHT Vincent

absente non excusée:SCANDOLERA Stéphanie,

A été nommé(e) secrétaire : Mme BORDOT Eliane

031 – Objet : Avis sur la demande d'autorisation de création du projet CIGEO

VU le Code de l'environnement, et notamment ses articles L. 542-10-1 et R.122-7

VUles décrets n°2022-992 et 2022-993 du 07 juillet 2022, déclarant le projet CIGEO opération d'intérêt national et d'utilité publique ;

VU l'arrêté interpréfectoral n°2025-1972 du 30 septembre 2025, pris en application du décret n°2025-771 du 04 août 2025, listant les collectivités locales et leur groupement consultés ;

VUle courrier reçu le 07 octobre 2025, dans lequel M. le Préfet de la Meuse, Préfet coordonnateur du projet CIGEO, sollicite l'avis de la commune de Thonnance les Moulins sur la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO) ;

VU le dossier de demande d'autorisation de création, disponible par voie dématérialisés sur le site internet de l'ANDRA, contenant les pièces suivantes :

- Pièces appelées par l'article R.593-16 du Code de l'environnement relatif au dossier de DAC de l'INB : Identification de l'exploitant ; Nature de l'installation ; Carte et plans ; Etude d'impact ; Etude de maîtrise des risques ; Capacités techniques de l'exploitant ; Capacités financières de l'exploitant ; Justification de la maîtrise foncière des terrains ; Servitudes et périmètres de protection et de droit exclusif ; Plan de démantèlement, de fermeture et de

surveillance ; Bilan du débat public et de la concertation ; Emission de gaz à effet de serre ; Plan directeur d'exploitation ;

- Pièces appelées par les articles L.123-6 et R.123-8 du code de l'environnement relatifs à l'enquête publique : Présentation non technique ; Informations juridiques et administratives ; Avis émis sur le projet et réponses de l'ANDRA ;
- Pièces non réglementaires ajoutées pour la lisibilité du dossier : Guide de lecture du dossier de demande d'autorisation de création ; Glossaire et acronymes.

Après une présentation en amont du maître d'ouvrage ANDRA du dossier de DAC et de nombreux échanges au sein du conseil municipal

CONSIDERANT l'instruction technique réalisée par l'Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASNR), faisant l'objet de trois rapports publics et d'un projet d'avis. Il est rappelé que l'ASNR se prononce sur les questions relatives à la sûreté nucléaire et à la protection des personnes et de l'environnement que présente le projet de stockage géologique CIGEO, pour chacune des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive et la phase de long terme.

CONSIDERANT le projet d'avis de l'ASNR, et en particulier les extraits suivants :

- La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de CIGEO, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture, a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique ;
- L'ASNR maintiendra les actions de dialogue avec les parties prenantes concernées. Elle estime par ailleurs opportun que les actions de concertation avec le public soient poursuivies ors es principales étapes de développement du projet, et préalablement à la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote de CIGEO.

CONSIDERANT les jalons suivants, retenus par l'ANDRA pour le développement de CIGEO:

2028: Début des travaux de terrassement

Horizon 2035: Début des creusement des liaison surface-fond

Horizon 2024: Construction des bâtiments nucléaires

Creusement des premières alvéoles MA-VL

Horizon 2045: Creusement des premières alvéoles HA

Horison 2050: Mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote

Horizon 2150: Phase de démentélement

Au vu des ses éléments, le Maire propose:

- De rendre un avis favorable à la demande d'autorisation de création d'un centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactif de haute activité et de moyenne activité à vie longue (CIGEO).

- De rappeler que les attentes de la commune de Thonnance les Moulins, en hyper proximité du projet CIGEO, concernent également l'aménagement du territoire en bonne intelligence avec les autres activités territoriales

- De notifier cet avis à M. le Préfet de la meuse, Préfet coordonnateur du projet CIGEO, par courrier et par mail.

Fait et délibéré les jours, mois et an susdits.
Au registre suivent les signatures

Pour copie conforme :
En mairie, le 27/11/2025

Le Maire
Lionel FRANCAIS

Secrétaire de séance
Mme BORDOT Eliane

MAIRIE DE THONNANCE-LES-MOULINS 52

Publicité des actes de la commune par publication papier le 27/11/2025

Reçu à la Sous-Préfecture
de SAINT-DIZIER

Le 02 DEC 2025

SOUS-PREFECTURE DE SAINT-DIZIER Haute-Marne

3

Les avis, rapport et évaluation requis au titre de la réglementation spécifique à l'INB Cigéo

3.1 Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) 224

3.2 Rapport de la Commission nationale des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) 247

3.3 Évaluation par l'OPECST 416

Ces avis, rapport et évaluation ne sont pas formellement requis pour l'enquête publique et sont insérés dans la présente pièce s'ils sont disponibles.

3.1 Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR)

L'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection sur la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo est appelé par l'article L. 542-10-1, alinéa 12 du code de l'environnement.

Il est établi dans le cadre de l'instruction technique de la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo et s'appuie, à la demande de l'Autorité, sur l'expertise du dossier conduite par l'IRSN, puis la direction de la recherche et de l'expertise en environnement de l'ASNR, ainsi que sur les avis rendus par le groupe permanent d'experts pour les déchets (GPD).

L'Autorité a rendu son avis n° 2025-AV-016 le 25 novembre 2025 « *appelé par les dispositions de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, relatif à la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base dénommée Cigéo déposée par l'Andra* ». Les rapports et avis d'expertise de l'IRSN, de l'ASNR et du GPD sont disponibles sur le site internet de l'ASNR[1].

Est présenté en annexe du présent document le courrier de l'Andra relatif à la « Synthèse des réponses aux engagements à échéance pour enquête publique ».

[1] En lien ci-après les rapports et avis :
- GP1 Première réunion du GPD relative à l'examen de la demande d'autorisation de création de Cigéo - 13/06/2024 - ASN (5) ;
- GP2 Le groupe permanent d'experts pour les déchets émet ses recommandations sur la sûreté de Cigéo en phase d'exploitation | ASNR (6) ;
- GP3 Recommandations du GP Déchets sur la sûreté à long terme de Cigéo en phase d'après-fermeture | ASNR (7).

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

ASNR Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

Avis n° 2025-AV-016 de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection du 25 novembre 2025, appelé par les dispositions de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement, relatif à la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base dénommée Cigéo déposée par l'Andra

L'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection,

Vu la directive 2011/70/Euratom du Conseil du 19 juillet 2011 établissant un cadre communautaire pour la gestion responsable et sûre du combustible usé et des déchets radioactifs ;

Vu le code de l'environnement, notamment les titres IV et IX de son livre V et en particulier ses articles L. 542-1-1, L. 542-1-2, L. 542-10-1, L. 542-12, L. 592-27, L. 593-7, L. 593-8 et L. 593-14 ainsi que R. 593-47, et D. 542-90 à D. 542-92 ;

Vu la loi n° 91-1381 du 30 décembre 1991 relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs codifiée ;

Vu la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs codifiée ;

Vu la 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 codifiée ;

Vu l'arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base ;

Vu 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 ;

Vu le guide de sûreté n° 1 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 12 février 2008 relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde ;

Vu l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1er février 2006 sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HAVL) menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, et liens avec le PNGDR-MV (Plan National de Gestion des Déchets Radioactifs et des Matières Valorisables) ;

Vu l'avis n° 2010-AV-0084 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 5 janvier 2010 sur le dossier de l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs (Andra) relatif à la proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation en surface pour un stockage réversible en formation géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2011-AV-129 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 26 juillet 2011 sur le dossier relatif au stockage réversible profond de déchets de haute et moyenne activité à vie longue déposé par l'Andra conformément à l'article 11 du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008 ;

Vu l'avis n° 2013-AV-0179 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 mai 2013 sur les documents produits par l'Andra depuis 2009 relatifs au projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2016-AV-0256 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 9 février 2016 sur les études relatives à l'évaluation du caractère valorisable des matières radioactives remises en application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu l'avis n° 2016-AV-0259 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 25 février 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de haute et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu l'avis n° 2016-AV-264 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 29 mars 2016 sur les études relatives à la gestion des déchets de faible activité à vie longue (FA-VL) remises en application du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2013-2015, en vue de l'élaboration du Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018 ;

Vu l'avis n° 2016-AV-0267 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 31 mai 2016 relatif à la réversibilité du stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2018-AV-300 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 11 janvier 2018 relatif au dossier d'options de sûreté présenté par l'Andra pour le projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde ;

Vu l'avis n° 2020-AV-0369 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1er décembre 2020 sur les études concernant la gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL), remises en application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018, en vue de l'élaboration du cinquième plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs ;

Vu la lettre ASN CODEP-DRC-2015-004834 du 7 avril 2015 relative au dossier « maîtrise des risques en exploitation » ;

Vu la lettre ASN CODEP-DRC-2016-005220 du 20 juin 2016 relative au dossier « plan de développement des composants du projet Cigéo » ;

Vu la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base Cigéo déposée par l'Andra le 16 janvier 2023 auprès de la ministre de la transition énergétique ;

Vu la saisine du ministère de la transition énergétique référencée DGPR/SRT/MSNR/BF/2023-040 du 28 mars 2023 ;

Vu la saisine de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire par l'Autorité de sûreté nucléaire référencée CODEP-DRC-2023-030596 du 7 juin 2023 ;

Vu les saisines du groupe permanent d'experts pour les déchets par l'Autorité de sûreté nucléaire référencées CODEP-DRC-2024-010770 du 8 mars 2024 et CODEP-DRC-2024-017460 du 4 novembre 2024 ;

Vu la saisine du groupe permanent d'experts pour les déchets par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection référencée CODEP-DRC-2025-022314 du 13 mai 2025 ;

Vu l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire n° 2024-00051 du 12 avril 2024 portant sur l'évaluation des données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo ;

Vu l'avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire n° 2024-00167 du 29 novembre 2024 portant sur l'évaluation de la sûreté en exploitation de Cigéo ;

Vu l'avis de la direction de la recherche et de l'expertise en environnement de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection 2025-00056 du 6 juin 2025 portant sur la sûreté en après-fermeture de Cigéo ;

Vu les avis et les recommandations du groupe permanent d'experts pour les déchets, relatifs au dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, établis à l'issue des réunions des 24 et 25 avril 2024, 10 et 11 décembre 2024 et 25 et 26 juin 2025 ;

Vu les lettres présentant les engagements de l'Andra référencées DG-24-0123 du 7 mars 2024, CG-AMOA-LET-24-0033 du 18 novembre 2024 et CG-AMOA-LET-25-0007 du 28 mai 2025 ;

Vu le document relatif aux « Objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote - Volet technique » remis par l'Andra au titre de l'article 36 de l'arrêté du 9 décembre 2022 susvisé ;

Vu les résultats de la consultation sur le projet ayant conduit au présent avis, réalisée du 3 au 30 octobre 2025, auprès des parties prenantes ayant participé au dialogue technique sur le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo ou aux ateliers de concertation sur les saisines de l'IRSN et du groupe permanent d'experts pour les déchets sur ce dossier, ainsi qu'auprès des membres du Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire (HCTISN),

Considérant ce qui suit :

- La gestion des déchets radioactifs est un enjeu de sûreté nucléaire et de radioprotection qui doit être envisagé sur le très long terme, et il est nécessaire que l'ensemble de ces déchets dispose d'une filière de gestion sûre.
- La loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 susvisée dispose que « les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou en faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde ».
- La directive du 19 juillet 2011 susvisée, dans son considérant 23, mentionne qu'« il est communément admis que sur le plan technique, le stockage en couche géologique profonde constitue, actuellement, la solution la plus sûre et la plus durable en tant qu'étape finale de la gestion des déchets de haute activité ».
- Le dossier de demande d'autorisation de création du centre de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde Cigéo, déposé par l'Andra, est l'aboutissement d'un processus de développement de plusieurs décennies, s'étant déroulé par étapes, tel que recommandé par le guide de sûreté n° 1 de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) susvisé. Il fait notamment suite à un ensemble d'études techniques sur lesquelles l'ASN s'est prononcée par les avis susvisés et au dossier d'options de sûreté déposé par l'Andra en 2016, sur lequel l'ASN a rendu l'avis n° 2018-AV-0300 susvisé.
- La version préliminaire du rapport de sûreté établie dans le cadre d'une demande d'autorisation de création doit comprendre des éléments d'un niveau de détail permettant, compte tenu de l'exploitation prévue de l'installation, d'avoir la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté nucléaire sera confirmée au moment de la remise de la version du rapport de sûreté établie pour la demande d'autorisation de mise en service de l'installation nucléaire de base (INB), tel qu'indiqué dans l'article 3.1.6 de l'annexe à la décision n° 2015-DC-0532 susvisée.
- Le présent avis est rendu conformément aux dispositions de l'article L. 542-10-1 du code susvisé, à l'issue de la phase d'instruction technique du dossier de demande d'autorisation de création qui s'est tenue entre janvier 2023 et juin 2025.
- Les saisines susvisées de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) puis du groupe permanent d'experts pour les déchets par l'ASN puis l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) ont fait l'objet de concertation avec les parties prenantes en vue de recueillir leurs préoccupations et d'en tenir compte dans le cadre de l'instruction technique.
- L'expertise réalisée par l'IRSN puis l'ASNR a fait l'objet d'un dialogue technique avec des représentants de la société civile dans le cadre d'une démarche d'ouverture à la société portée par l'IRSN puis l'ASNR, le Comité local d'information et de suivi (CLIS) du laboratoire de Bure et l'Association Nationale des Comités et Commissions Locales d'Information (Anccli).
- Le présent avis a fait l'objet d'une consultation des parties prenantes engagées dans les concertations et le dialogue technique susmentionnés du 3 octobre au 30 octobre 2025.
- Cet avis, qui synthétise la position de l'ASNR à l'issue de l'instruction technique du dossier de demande déposé par l'Andra, sera présenté à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques conformément aux dispositions de l'article L. 542-10-1 susvisé. L'ASNR considère qu'il a également vocation à éclairer les parties prenantes et le public qui seront amenés à s'exprimer dans le cadre de la procédure d'autorisation au titre des consultations prévue par ce même article, et de l'enquête publique prévue par l'article L. 593-8 susvisé.

- L'ASNR se prononce sur les questions relatives à la sûreté nucléaire et à la protection des personnes et de l'environnement que présente le projet de stockage géologique Cigéo, pour chacune des différentes étapes de sa gestion, y compris sa fermeture définitive et la phase de long terme ; à cet égard, le présent avis porte sur le dossier de demande d'autorisation de création et les éléments de réponse apportés dans le cadre de son instruction technique. Il s'appuie sur les expertises réalisées par l'IRSN puis par la direction de la recherche et de l'expertise en environnement de l'ASNR ainsi que sur les trois avis susvisés remis par le groupe permanent d'experts pour les déchets.
- A l'issue de la procédure d'instruction de la demande d'autorisation de création de Cigéo et si celle-ci se conclut favorablement, l'ASNR sera chargée d'édicter les prescriptions techniques prises en application du décret d'autorisation de création de l'INB Cigéo ; à cet égard, le présent avis identifie les principaux sujets susceptibles de faire l'objet de telles prescriptions, et les échéances correspondantes, au regard des enjeux identifiés dans le cadre de l'instruction technique du dossier. C'est notamment le cas de certains compléments spécifiques qui seront appelés préalablement au franchissement de jalons clés du projet au cours de la construction et jusqu'à la mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote.
- L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé dispose qu' « afin de garantir la participation des citoyens tout au long de la vie d'une installation de stockage en couche géologique profonde, l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs élabore et met à jour, tous les cinq ans, en concertation avec l'ensemble des parties prenantes et le public, un plan directeur de l'exploitation de celle-ci ».
- Lors de la consultation susvisée sur le présent avis, les parties prenantes ont exprimé des préoccupations relatives à l'acquisition de la démonstration de sûreté vis-à-vis de certains enjeux, tels que les scellements, la gestion des déchets bituminés, ou la maîtrise des risques d'explosion et d'incendie, à l'inventaire susceptible d'être autorisé, au choix technique fait par l'Andra concernant le dispositif de descente des colis de déchets radioactifs dans l'installation souterraine, au suivi des engagements pris par l'Andra, aux futures opportunités d'expression et de participation lors des différentes phases de développement et d'autorisation du projet, ainsi qu'aux conditions de déroulement de l'enquête publique.

Rend l'avis suivant :

Concernant le dossier soumis à l'appui de la demande d'autorisation de création de Cigéo

Considérant que l'instruction technique de la demande d'autorisation de création de Cigéo a mis en lumière les points suivants :

- L'Andra a acquis un socle de connaissances suffisant relatif à la formation hôte constituée par la couche argileuse du Callovo-Oxfordien (COx) ainsi qu'aux matériaux cimentaires et aux colis de déchets pour fonder, au stade de la demande d'autorisation de création, la démonstration de sûreté de l'installation Cigéo durant son exploitation et après sa fermeture définitive.

- L'inventaire de référence retenu par l'Andra, rappelé ci-dessous, comprend 19 familles de colis de déchets de haute activité (HA) et 80 familles de colis de déchets de moyenne activité à vie longue (MA-VL).

- La démarche de sûreté en exploitation et en après fermeture retenue par l'Andra est satisfaisante sur le plan des principes.

- La démonstration de sûreté des installations de surface et souterraine, telle qu'attendue en vue de la mise en service limitée à la phase industrielle pilote, nécessite des compléments sur certains points détaillés dans la suite du présent avis, notamment afin de confirmer la maîtrise des risques d'incendie et d'explosion, les modalités de gestion des déchets bitumés ainsi que les performances des scellements.

- Ces compléments ou éléments de consolidation identifiés comme nécessaires à l'issue de l'expertise du dossier de demande d'autorisation de création ont pour le plus grand nombre fait l'objet d'engagements de l'Andra en vue des prochaines étapes du développement de Cigéo. En l'absence d'engagement, ils pourront faire l'objet de demandes particulières de l'ASNR.

- Le système de stockage, dans l'architecture retenue à ce stade, présente une bonne capacité de confinement en après-fermeture, et est robuste vis-à-vis des événements perturbateurs considérés et des incertitudes identifiées.

Considérant par ailleurs que :

- L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé dispose que « *l'exploitation du centre débute par une phase industrielle pilote permettant de conforter le caractère réversible et la démonstration de sûreté de l'installation, notamment par un programme d'essais in situ* ».
- L'article D. 542-91 du code de l'environnement susvisé dispose que *« l'inventaire sur lequel l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs se fonde pour mener les études et recherches relatives à la conception du centre de stockage prévu à l'article L. 542-10-1 comprend, pour l'application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, un inventaire de référence et un inventaire de réserve. […] Le centre de stockage est conçu pour accueillir les déchets de l'inventaire de référence ».* A cet égard, l'Andra a retenu un inventaire de référence qui prend en compte les déchets existants et les déchets qui seront produits à l'avenir par les installations nucléaires existantes (comprenant les réacteurs de production d'électricité d'EDF dont l'EPR de Flamanville, les usines du cycle du combustible d'Orano, les installations de recherche du CEA…) ainsi que ceux qui seront produits par les installations nucléaires autorisées à fin 2016 en cours de construction ou de mise en service (ITER, réacteur expérimental Jules Horowitz), jusqu'au terme prévisible de leur fonctionnement (hypothèse du scénario SR2[1] retenue), puis de leur démantèlement.
- L'inventaire de réserve vise à permettre la prise en compte d'éventuelles évolutions de stratégies industrielles ou de politique énergétique ainsi que les incertitudes liées notamment à la mise en place de nouvelles filières de gestion.
- Conformément à l'article R. 593-47 du code de l'environnement susvisé, tout accroissement de la capacité maximale de Cigéo constituerait une modification substantielle de l'installation et nécessiterait à ce titre une nouvelle autorisation.
- L'Andra a apporté des éléments de réponse à l'ensemble des demandes et engagements pris dans le cadre des instructions antérieures au dépôt de la demande d'autorisation de création de Cigéo.
- Les parties prenantes consultées ont souligné la nécessité que le respect de ces engagements, sous le contrôle de l'ASNR, fasse l'objet d'une information transparente et régulière des parties prenantes et du public.

L'ASNR estime que :

- **Le contenu de la version préliminaire du rapport de sûreté comprend les éléments requis par la réglementation, avec un niveau de détail permettant d'avoir la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté nucléaire sera confirmée au moment de la remise de la version du rapport de sûreté établie pour la demande d'autorisation de mise en service de Cigéo, limitée à la phase industrielle pilote.**
- **La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture, a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique.**
- **L'inventaire de référence sur lequel s'est fondé l'Andra pour mener les études et recherches relatives à la conception de Cigéo constitue une base robuste pour définir l'inventaire des déchets autorisés à être stockés dans Cigéo. Cet inventaire devra être encadré par le décret d'autorisation de création.**

[1] Les différents scénarios (SR1, SR2, SNR…) sont décrits dans l'édition 2018 de l'Inventaire national établi par l'Andra. Les hypothèses structurantes retenues pour le scénario SR2 sont : la poursuite de la production électronucléaire, une durée de fonctionnement uniforme de 50 ans de l'ensemble des réacteurs, un renouvellement progressif des réacteurs du parc électronucléaire actuel par des réacteurs EPR puis par des réacteurs RNR qui pourraient constituer à terme la totalité d'un futur parc et le retraitement de la totalité des combustibles usés.

- **Les informations fournies par l'Andra pour l'inventaire de réserve sont suffisantes pour alimenter les études d'adaptabilité de Cigéo aux scénarios industriels prospectifs retenus. Ces études ne sont pas remises en cause par les perspectives de prolongation de l'exploitation des réacteurs de 50 à 60 ans et de création de six réacteurs EPR2.**
- **Les spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires sont, dans leur ensemble, cohérentes avec la démonstration de sûreté.**
- **Des compléments et éléments de consolidation, sans que ceux-ci constituent des points rédhibitoires à la délivrance d'un décret d'autorisation de création, seront nécessaires à l'acquisition complète de la démonstration de sûreté pour certaines composantes du projet, dont certaines doivent pouvoir bénéficier de la phase industrielle pilote. Ils sont attendus, comme détaillé dans la suite du présent avis, à des stades ultérieurs de développement du projet.**
- **Le travail de préfiguration mené par l'Andra sur la préservation de la mémoire est satisfaisant à ce stade. Il devra être poursuivi et approfondi lors des phases ultérieures de développement du projet.**

Concernant les éléments à apporter avant l'enquête publique

L'ASNR note qu'au cours de l'instruction, l'Andra s'est engagée à apporter les éléments suivants préalablement à l'enquête publique, dont certains seront intégrés à la mise à jour du dossier support à la demande d'autorisation de création en vue de sa mise à l'enquête publique :

- la quantification pour les familles de colis primaires de l'inventaire de référence, des incertitudes, notamment en termes de conditionnement, pouvant impacter le nombre et le volume de colis primaires ;
- une feuille de route pour la réalisation d'études complémentaires relatives à la faisabilité du stockage du plutonium séparé et des rebuts de combustibles MOX ;
- un programme d'études visant à consolider l'inventaire en substances toxiques chimiques à considérer pour l'étude d'impact de Cigéo, prenant en compte :
    - les substances chimiques fortement toxiques ou introduites en quantités importantes dans le stockage, issues des différents composants des colis primaires de déchets (déchets, matrices et contenants) ;
    - les formes physico-chimiques les plus probables et/ou toxiques de ces substances dans le stockage ;
    - une discrimination du niveau de confiance attribué aux données déclarées par les producteurs de déchets et des marges associées ;
- des compléments à l'évaluation quantitative de l'impact sanitaire et environnemental des rejets liquides de substances chimiques toxiques ;
- la contribution à la dose aux exutoires du ^{14}C présent sous forme gazeuse dans le stockage pendant le transitoire hydraulique-gaz après fermeture pour justifier l'absence d'impact significatif ;
- la quantification pour le SEN et les SEA[2], les quotients de danger (QD) et excès de risque individuels (ERI) pour les substances toxiques chimiques présentes à l'exutoire ;
- la justification du nombre, de la localisation et des objectifs de performance des scellements des galeries dans l'architecture à terminaison, et en particulier les évolutions depuis le dossier d'options de sûreté (DOS). Cette justification se fera au regard des fonctions à assurer par les scellements, notamment vis-à-vis du compartimentage dans les scénarios d'intrusion humaine involontaire.

Les engagements pris par l'Andra pour la mise à jour du dossier d'autorisation de création préalablement à l'enquête publique répondent aux attentes soulevées lors de l'instruction technique. En conséquence, l'ASNR estime que le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo pourra donner lieu à l'enquête publique prévue par l'article L. 593-8 du code de l'environnement.

[2] le scénario d'évolution normale (SEN) ou « domaine d'évolution normale », correspond à l'évolution prévisible de l'installation et du milieu géologique, les scénarios d'évolution altérée (SEA), associés à des événements incertains mais plausibles, visent à évaluer les conséquences de dysfonctionnements de composants pouvant entrainer une dégradation de leur performance ou la perte partielle d'une fonction de sûreté

Concernant le développement du projet et les orientations pour l'encadrement réglementaire associé jusqu'à la mise en service limitée à la phase industrielle pilote

Constatant que l'Andra retient désormais les principaux jalons suivants pour le développement de Cigéo :

- un début des travaux de terrassement prévu en 2028 ;
- un début des creusements des liaisons surface-fond à l'horizon 2035 ;
- la construction des bâtiments nucléaires à l'horizon 2040 ;
- le creusement des premiers alvéoles MA-VL à l'horizon 2040 puis des premiers alvéoles HA à l'horizon 2045 ;
- la mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote, à l'horizon 2050 ;
- une phase de démantèlement et de fermeture à l'horizon 2150.

Et considérant ce qui suit :

- La construction progressive de Cigéo s'appuie sur des jalons stratégiques, rappelés ci-avant, qui délimitent des phases successives du développement du projet présentant des enjeux de sûreté spécifiques, et impliquant des dispositions techniques dédiées.
- Les franchissements de ces jalons constituent des étapes clés à l'occasion desquelles des compléments d'information et de démonstration sont attendus.
- Après la délivrance du décret d'autorisation de création, le jalon réglementaire suivant prévu par la loi est la mise en service de l'installation, limitée à la phase industrielle pilote, prévue à l'horizon 2050 ; il convient par conséquent de définir des jalons intermédiaires préalablement à ce premier rendez-vous législatif.
- L'instruction technique du dossier a permis de mettre en lumière plusieurs aspects du dossier devant être complétés ou développés dans cette perspective. Ceux-ci concernent :
    - le programme de travaux à mener en phase industrielle pilote inactive (sans stockage de déchets radioactifs) et active (stockage de déchets radioactifs), fondé sur la justification des objectifs et critères de réussite ;
    - des compléments pour justifier la classification des scénarios incidentels et accidentels ;
    - des compléments relatifs à l'évaluation de la maîtrise du risque incendie ;
    - des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis du stockage en l'état des déchets bitumés ;
    - des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque d'explosion au cours des opérations de fermeture et après fermeture des alvéoles MA-VL ;
    - des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque d'explosion dans les alvéoles HA en phase d'exploitation ;
    - la corrosion des matériaux métalliques des alvéoles de stockage HA ;
    - une évaluation du scénario *What-if*[3] « discontinuité traversante », en tenant compte d'une discontinuité au sein du quartier de stockage HA et de l'ensemble des radionucléides mobiles et peu mobiles d'intérêt, dont les éléments transuraniens et leur filiation ;
    - la présentation d'une situation d'abandon du stockage pendant son fonctionnement. L'Andra identifiera, le cas échéant, les enseignements en ce qui concerne notamment les modalités d'une éventuelle fermeture préventive anticipée du stockage, permettant de limiter les conséquences de telles situations sur la sûreté à long-terme ;
    - certaines caractéristiques hydrogéologiques des couches marneuses de la série grise, de l'Oxfordien calcaire et du COx,
- L'Andra s'est engagée à prendre en compte la plupart des points cités ci-avant.

[3] Terminologie anglaise signifiant « Et si », retenue au niveau international et reprise au niveau national. Ces scénarios reposent sur des conjectures très improbables afin d'étudier la réaction et la robustesse du système de stockage.

L'ASNR considère que :

- **Le calendrier de développement du projet apparait comme réaliste, à la lumière des éléments dont dispose l'Andra aujourd'hui.**
- **Dans l'hypothèse de la délivrance d'un décret d'autorisation de création de l'installation, la transmission de certains des compléments, mentionnés ci-dessus et précisés en annexe de cet avis, ainsi que les échéances associées, pourront faire l'objet de prescriptions techniques qu'elle édictera, en application des dispositions de l'article R. 593-38 du code de l'environnement, ou de points d'arrêt subordonnant à son accord l'engagement de certaines opérations, en application de ce même article. Certains de ces prescriptions ou points d'arrêt pourront donner lieu à une obligation d'information de la commission locale d'information par l'Andra.**
- **L'Andra devra transmettre une mise à jour de la version préliminaire du rapport du sûreté de l'installation au plus tard dix ans après la publication du décret d'autorisation de création. Cette mise à jour devra intégrer les éléments identifiés au cours de l'instruction relevant de cette échéance, ainsi que les avancées et le programme d'études associés à ceux relevant d'une échéance ultérieure.**

L'ASNR rappelle que la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote sera conditionnée au caractère satisfaisant des compléments et éléments de consolidation attendus avant cette échéance, ainsi que des éléments appelés par la réglementation générale, notamment le rapport de sûreté et les éléments permettant d'apprécier la conformité de l'installation réalisée avec les dispositions du décret d'autorisation.

Enfin, l'ASNR maintiendra tout au long du projet les actions de dialogue avec les parties prenantes concernées. Elle rappelle à ce titre que le public sera consulté sur le projet de décision autorisant la mise en service, limitée à la phase industrielle pilote, de Cigéo.

Elle estime par ailleurs opportun que les actions de concertation avec le public soient poursuivies lors des principaux jalons de développement du projet, rappelés ci-dessus, et préalablement à la délivrance de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote de Cigéo.

Le présent avis sera publié au *Bulletin officiel* de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

Fait à Montrouge, le 25 novembre 2025.

Le collège de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection*,

Signé par :

Olivier DUBOIS Stéphanie GUÉNOT BRESSON Jean-Luc LACHAUME Géraldine PINA

** Commissaires présents en séance.*

Annexe

Conclusions techniques issues de l'instruction du dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo

Considérant ce qui suit :

- L'ASN a souhaité que l'expertise du dossier de demande soit organisée selon trois phases d'instruction : les données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo, la sûreté en phase d'exploitation des installations de surface et souterraine et la sûreté après fermeture.
- La phase industrielle pilote et le principe de réversibilité sont des spécificités de Cigéo définies par les dispositions de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé, et sont des sujets transverses qui ont été instruits dans chaque phase d'instruction.

L'IRSN a émis ses recommandations dans les avis n° 2024-00051 du 12 avril 2024 portant sur l'évaluation des données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo et n° 2024-00167 du 29 novembre 2024 portant sur l'évaluation de la sûreté en exploitation de Cigéo, puis la direction de la recherche et de l'expertise en environnement de l'ASNR dans son avis n° 2025-00056 du 6 juin 2025 portant sur la sûreté après fermeture.

Concernant les données de base retenues pour l'évaluation de sûreté de Cigéo

Connaissance du site de Meuse/Haute-Marne

Considérant ce qui suit :

- Depuis la remise du dossier d'options de sûreté en 2016, l'Andra a réalisé de nouvelles caractérisations hydrogéologiques et géotechniques en surface et subsurface, en particulier concernant les calcaires du Barrois au niveau de la zone « descenderie ».
- En 2010, l'ASN s'est prononcée sur le potentiel géothermique dans son avis 2010-AV-0084 susvisé dans lequel elle considère que « *le forage traversant le Trias réalisé au centre de la zone permet de confirmer l'absence de potentiel géothermique exploitable à son aplomb* » et en 2017 l'IRSN a rappelé, dans son rapport relatif au dossier d'options de sûreté de Cigéo que « *le secteur ne présente pas de caractère exceptionnel* » par rapport à d'autres secteurs sur le territoire français (dans les conditions technico-économiques du moment).
- Les niveaux d'aléas naturels susceptibles d'impacter Cigéo, relatifs à l'inondation, au vent et aux tornades ont été évalués par l'Andra de manière satisfaisante, mais évolueront du fait du changement climatique.
- L'Andra a réuni des connaissances suffisantes pour évaluer la sûreté de Cigéo, au stade de la demande d'autorisation de création, concernant la tectonique du site, son contexte structural et son évolution géoprospective.
- Des structures profondes identifiées par méthode géophysique en 2010 dans le nord de la zone d'implantation de l'installation, au niveau du quartier de stockage HA, nécessitent la mise en œuvre d'un programme de reconnaissance de la formation hôte au droit de ces structures afin d'adapter, si besoin, la conception et l'architecture de l'installation souterraine.
- L'Andra s'est engagée à apporter, avant le début des travaux de terrassement prévus en 2028, les résultats des investigations et études complémentaires qui auront été mises en œuvre pour compléter la caractérisation des calcaires du Barrois.

L'ASNR estime que :

- L'Andra a acquis une base de connaissances relatives au site de Meuse/Haute-Marne et à la formation du Callovo-Oxfordien (COx) suffisante pour évaluer la sûreté de Cigéo au stade de la demande d'autorisation de création.
- L'absence de ressources naturelles d'intérêt particulier ou exceptionnel au droit du site a été démontrée.
- L'Andra devra tenir compte du changement climatique en termes de définition des niveaux d'aléas susceptibles d'évoluer et de capacité à modifier l'installation pour y faire face.

- L'estimation des valeurs extrêmes de température et de neige devra tenir compte de données issues de périodes de retour plus importantes ainsi que de données issues de davantage de stations de mesures représentatives des conditions du site.
- L'Andra devra poursuivre ses efforts pour intégrer les situations d'évolution climatique perturbée dans les scénarios d'évolution géoprospective du site.
- L'Andra devra mettre en œuvre un programme de reconnaissance du Callovo-Oxfordien dans le nord de la Zone d'implantation des ouvrages souterrains (localisation des quartiers de stockage HA) à l'aplomb des structures nord-sud identifiées dans le Trias en vue de qualifier l'impact éventuel de ces structures sur les propriétés du Callovo-Oxfordien.
- Ce programme devra avoir abouti au plus tard avant le début du creusement des galeries de liaison desservant le quartier de stockage HA. L'Andra devra justifier, au plus tard lors de la remise du bilan de la phase industrielle pilote, les dispositions qu'elle prendrait en cas d'impact supposé ou avéré de ces structures.

Propriétés et évolution des composants du stockage

Considérant ce qui suit :

- L'état des connaissances développées par l'Andra concernant les perturbations géomécaniques et thermo-hydromécaniques dues à l'implantation de l'installation de stockage est satisfaisant.
- La modélisation du transitoire hydraulique-gaz, améliorée depuis le dossier d'options de sûreté, conduit, dans le cas d'hypothèses très pénalisantes, à des valeurs proches du seuil de fracturation « en grand » de la couche du Callovo-Oxfordien.
- La conception des scellements, encore à un stade préliminaire, ne permet pas d'apporter la démonstration de leurs performances, visant d'une part à limiter la circulation de l'eau dans le stockage et d'autre part à garantir une perméabilité au gaz suffisante. L'Andra prévoit la mise en place de démonstrateurs de scellements de descenderie et de galerie, dès le début de la construction de Cigéo, visant à démontrer l'opérationnalité des concepts retenus et à disposer d'une première évaluation de la performance hydraulique des scellements.
- La première formulation du matériau cimentaire destiné à remplir l'espace annulaire entre la roche et le chemisage des alvéoles « haute activité » présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création induisant des vitesses de corrosion significatives, l'Andra développe un programme visant à l'élaboration d'autres formulations, mais dont l'avancement reste à ce stade encore limité. Les données disponibles pour justifier le dimensionnement des composants métalliques de l'alvéole HA restent ainsi marquées par des incertitudes importantes, ce qui constitue un point d'attention pour statuer sur la pertinence de leur dimensionnement tel que retenu à ce stade.
- La méthode de creusement des puits d'accès à l'installation souterraine constitue un point de vigilance particulier compte tenu de l'importance de la mise en place des scellements pour la sûreté après-fermeture.

L'ASNR estime que :

- L'Andra a acquis une base de connaissances relatives aux composants du système de stockage suffisante pour évaluer la sûreté de Cigéo au stade de la demande d'autorisation de création.
- En sus de la poursuite de la validation du modèle numérique du transitoire hydraulique-gaz en précisant ses différentes incertitudes, une exigence relative à la pression maximale de gaz à ne pas dépasser dans le stockage devra être définie. Elle devra respecter une marge par rapport au seuil de fracturation de la roche et fera l'objet de vérifications *in situ* au fur et à mesure de la construction.
- Les résultats des programmes de recherche associés à la mise en place de démonstrateurs de scellements de descenderie et de galerie devront être intégrés au bilan de la phase industrielle pilote, afin de consolider le concept de référence complet de chaque type de scellement, associé aux puits, descenderies et galeries.
- Le dimensionnement des composants métalliques de l'alvéole HA devra être justifié au regard des résultats du programme relatif à la corrosion de ces composants en présence du matériau de remplissage de l'espace annulaire.
- L'Andra devra présenter, avant le creusement des puits, la méthode de creusement retenue afin de minimiser l'endommagement de la roche, au moins localement au droit des futures zones à sceller.

Inventaires des colis de déchets prévus d'être stockés dans Cigéo

Considérant ce qui suit :

- Les familles de colis primaires des inventaires de référence et de réserve sont identifiées de façon adéquate et cohérente avec les scénarios industriels prospectifs retenus par l'Andra.
- Bien que les données présentées concernant les colis constituant l'inventaire de référence (caractéristiques radiologiques, chimiques et physiques) ainsi que la démarche d'élaboration des spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires soient globalement satisfaisantes pour concevoir l'installation et en évaluer la sûreté, des incertitudes subsistent à ce sujet.
- Les données présentées pour l'inventaire de réserve apparaissent comme globalement suffisantes pour fonder les études d'adaptabilité de Cigéo aux scénarios industriels prospectifs retenus et, le cas échéant, au stockage des déchets FA-VL.
- Concernant l'impact des évolutions possibles de la politique énergétique française sur l'adaptabilité de Cigéo en termes d'emprise du stockage, selon les scénarios étudiés (stockage de l'inventaire de réserve, prolongation de l'exploitation des réacteurs de 50 à 60 ans, construction de six réacteurs EPR2), les limites actuelles de la zone d'implantation des ouvrages souterrains pourraient être dépassées, tout en restant dans la zone de transposition pour laquelle la possibilité d'implanter un stockage a été établie.

L'ASNR estime que :

- L'Andra a acquis une base de connaissances relatives aux colis de déchets à stocker suffisante pour évaluer la sûreté de Cigéo au stade de la demande d'autorisation de création.
- Les incertitudes subsistant concernant notamment les volumes de colis primaires de déchets dont le conditionnement reste à définir, leurs modes de stockage, la prise en compte des déchets issus du traitement des combustibles usés de type MOX ou issus de réacteurs de recherche et les dates de réception des derniers colis dans l'installation devront être accommodées par le caractère flexible de l'installation.
- L'adaptabilité de Cigéo au stockage de l'inventaire de réserve présenté par l'Andra n'est pas remise en cause par les connaissances actuelles relatives à la géologie, y compris si cet inventaire de réserve était augmenté des déchets produits du fait de la prolongation de l'exploitation de l'ensemble des réacteurs actuels de 50 à 60 ans et de la construction de six réacteurs de type EPR2.
- L'adaptation de l'installation dans la durée à d'autres évolutions possibles que celles retenues actuellement dans l'inventaire de réserve (prolongation de l'exploitation des réacteurs au-delà de 60 ans, construction de réacteurs EPR2 supplémentaires ou de petits réacteurs modulaires) devra être évaluée sur la base de nouvelles études d'adaptabilité à des horizons temporels qui pourront être définis lorsque les décisions afférentes à ce futur parc auront été prises.

Concernant l'évaluation de la sûreté en phase d'exploitation des installations de surface et souterraine

Démarche de sûreté et de radioprotection en exploitation

Considérant ce qui suit :

- La démarche de sûreté et de radioprotection retenue par l'Andra est fondée sur les fonctions de sûreté assignées à l'installation ainsi que la définition d'objectifs de protection des travailleurs et du public en vue de protéger la santé des personnes et l'environnement contre les risques liés à la dissémination de substances radioactives et de toxiques chimiques.
- L'Andra classe les situations accidentelles susceptibles de conduire à un risque radiologique selon leur caractère vraisemblable, soit dans le domaine de dimensionnement, soit dans le domaine d'extension de dimensionnement, soit en tant que situations exclues.
- La méthodologie utilisée pour définir les spécifications préliminaires d'acceptation des colis de déchets radioactifs a été jugée satisfaisante au stade du dossier d'options de sûreté (DOS) et n'a pas évolué.
- L'Andra a établi une liste de contrôles « systématiques » qu'elle envisage de faire à réception des colis primaires et une liste préliminaire de contrôles à réaliser par échantillonnage, dits contrôles « hors flux », en cours de développement.
- La stratégie de surveillance a pour objectifs de s'assurer que l'installation reste dans le domaine de fonctionnement normal pendant son exploitation et de vérifier que les perturbations liées à la construction et à l'exploitation n'impactent pas les fonctions de sûreté après-fermeture. Celle-ci repose principalement sur différentes méthodes de mesure redondantes et complémentaires ainsi que, pour les alvéoles, à des mesures déportées dans des ouvrages témoins.

L'ASNR estime que :

- Les principes guidant la démarche de sûreté et de radioprotection, les fonctions de sûreté et les éléments importants pour la protection identifiés, ainsi que le cadre défini pour les situations du domaine de dimensionnement des installations de surface et souterraine, sont globalement satisfaisants.
- Dans la prochaine révision de la version préliminaire du rapport de sûreté, le classement de certaines situations accidentelles postulées relevant du domaine d'extension du dimensionnement devra être consolidé en objectivant le caractère peu vraisemblable des situations accidentelles de ce domaine ; l'absence de dispositions complémentaires raisonnablement applicables pour ces situations devra être justifiée.
- Bien qu'exclue actuellement, une situation de dissémination notable de substances radioactives au sein de l'installation souterraine devra être postulée dans la prochaine révision de la version préliminaire du rapport de sûreté pour permettre de tirer des enseignements en termes de dispositions de gestion accidentelle et post-accidentelle, à prendre à la construction, et qui seraient de nature à faciliter cette gestion.
- Les spécifications préliminaires d'acceptation des colis primaires définies par l'Andra en lien avec les producteurs de déchets sont, dans leur ensemble, cohérentes avec l'évaluation de sûreté en exploitation. Néanmoins, bien que des contrôles systématiques et « hors flux » soient prévus et devraient garantir la conformité d'un nombre important de colis à ces spécifications, la suffisance du nombre d'emplacements dans la zone dédiée à la gestion des colis non conformes dans l'installation devra être justifiée dans la prochaine révision de la version préliminaire du rapport de sûreté.
- Bien que la stratégie de surveillance et l'identification des paramètres à mesurer soient suffisantes au stade de la demande d'autorisation, l'Andra devra compléter la démonstration de faisabilité des dispositions de surveillance au cours de la phase industrielle pilote et justifier, avant le creusement de ces ouvrages, la pertinence de la représentativité de la surveillance déportée en alvéoles témoins HA et MA-VL.

Concernant l'évaluation de sûreté en phase d'exploitation

Considérant ce qui suit :

- L'Andra a apporté des éléments de démonstration de la maîtrise des risques d'origine interne (inondation interne, manutention, perte d'auxiliaires et coactivité) suffisants pour ce stade de développement du projet.
- L'analyse de la maîtrise du risque incendie nécessite d'être consolidée notamment sur le caractère enveloppe des agressions retenues. Les dispositions de compartimentage visant à limiter les conséquences d'un incendie dans l'installation souterraine et les dispositions liées à l'intervention en cas d'incendie dans l'installation souterraine afin de garantir une intervention rapide et efficace nécessitent d'être améliorées ou complétées pour pouvoir confirmer la démonstration de sûreté.
- Les études relatives à l'évolution de l'atmosphère interne d'un alvéole MA-VL non ventilé lors de la phase de fermeture et aux conséquences d'une éventuelle explosion sont à un stade préliminaire.
- La faisabilité technique des dispositions de limitation des échanges gazeux avec la galerie d'accès ou de surveillance et pour l'inertage de l'atmosphère interne n'est pas démontrée pour la conception actuelle, ni pour le passage à une échelle industrielle, en vue de la maîtrise de l'atmosphère interne des alvéoles HA vis-à-vis du risque d'explosion.
- L'Andra a récemment engagé une évolution organisationnelle de l'agence liée au passage de la phase de conception à la phase industrielle de construction et de fonctionnement de Cigéo.

L'ASNR estime que :

- La démonstration de la maîtrise des risques de manutention (chute et collision) et de dissémination des substances radioactives dans les installations souterraines et de surface est étayée et les dispositions techniques envisagées sont conformes aux bonnes pratiques, ce qui est satisfaisant.
- La démarche d'évaluation de la maîtrise du risque incendie et les dispositions techniques associées devront être consolidées notamment concernant la justification du caractère enveloppe des agressions retenues, le compartimentage de l'installation souterraine et la capacité d'intervention en cas d'incendie dans cette dernière.
- La gestion de la ventilation lors des phases transitoires liées au déploiement de l'installation souterraine devra être précisée.
- La démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque « explosion » lors des opérations de fermeture de l'alvéole MA-VL, induisant un arrêt de la ventilation, et après sa fermeture ainsi que celle de l'alvéole HA en exploitation devra être complétée avant le début des travaux de creusement.
- L'organisation de l'Andra reste à conforter pour maîtriser les risques liés à la gestion du projet Cigéo notamment sur la mise en œuvre du système de management intégré, la gestion des configurations, la gestion des ressources et des compétences, l'intégration des facteurs organisationnels et humains ainsi que la formalisation du retour d'expérience. La feuille de route que l'Andra s'est engagée à transmettre d'ici la fin de l'année 2025 devra bien identifier ces enjeux et les échéances de mise en œuvre. Un point d'étape sera attendu lors de la prochaine mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté.

Concernant le cas particulier du stockage en l'état des déchets bitumés

Considérant ce qui suit :

- Les colis de déchets bitumés représentent 18 % du nombre de colis de l'inventaire de référence de l'installation.
- Ces déchets n'ont pas vocation à être stockés dans Cigéo lors de la phase industrielle pilote.
- Les déchets bitumés font l'objet d'un programme de caractérisation, appelé Babylone, visant à améliorer les connaissances sur le comportement à long terme de ces déchets, porté par les producteurs de déchets et l'Andra, qui est suivi dans le cadre du Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR).
- Les dispositions de conception spécifiques des conteneurs de stockage et des alvéoles dédiés à ces déchets et des scénarios « extrêmes » postulant l'emballement thermique d'un colis stocké ont été présentées.

- Les scénarios « extrêmes » présentés par l'Andra n'intègrent pas suffisamment les connaissances phénoménologiques relatives au comportement des colis de déchets bitumés et leur caractère enveloppe n'est à ce stade pas démontré.
- Les délais de détection et d'intervention suite à une montée en température dans un colis de stockage ont fait l'objet d'évaluations préliminaires.

L'ASNR estime que :

- La démonstration de sûreté basée sur le respect du critère de température en peau de colis à 100°C est satisfaisante pour les scénarios de référence retenus.
- Toutefois, pour les scénarios extrêmes, la démonstration de sûreté du stockage en l'état des déchets bitumés n'est pas entièrement aboutie et nécessite des compléments. La stratégie de détection et d'intervention reste notamment à consolider et justifier sur la base de scénarios enveloppes.

Evaluation de l'impact sanitaire et environnemental en exploitation

Considérant ce qui suit :

- Le niveau de l'impact radiologique sanitaire et pour l'environnement en fonctionnement normal, évalué par l'Andra, basé notamment sur une identification des rejets, est très faible.
- L'évaluation de l'impact des rejets liquides de substances chimiques toxiques est fondée sur le respect par ces rejets des valeurs des normes de qualité environnementale.
- En situations incidentelles et accidentelles, les évaluations des conséquences radiologiques et chimiques pour les populations proches conduisent à des niveaux de conséquences respectant les objectifs de protection, ce qui est satisfaisant.

L'ASNR estime que :

- La méthode retenue pour évaluer l'impact radiologique en situations normale, incidentelle et accidentelle est globalement satisfaisante.
- Une évaluation quantitative de l'impact des rejets liquides de substances chimiques toxiques devra être réalisée, sur la base d'une estimation des concentrations rejetées dans l'environnement.

Concernant l'évaluation de la sûreté en phase après fermeture

Considérant ce qui suit :

- La démarche d'évaluation de la sûreté après fermeture retenue par l'Andra comprend une analyse des risques internes et externes ainsi que des incertitudes associées à l'évolution future des composants du stockage d'une part, et une évaluation de la capacité globale de confinement du stockage intégrant ces risques et incertitudes via des scénarios d'évolution du stockage d'autre part.
- L'Andra classe les scénarios d'évolution du stockage qu'elle retient selon leur vraisemblance :
  - le scénario d'évolution normale (SEN) ou « domaine d'évolution normale », qui correspond à l'évolution prévisible de l'installation et du milieu géologique ;
  - des scénarios d'évolution altérée (SEA), associés à des événements incertains mais plausibles, qui visent à évaluer les conséquences de dysfonctionnements de composants pouvant entrainer une dégradation de leur performance ou la perte partielle d'une fonction de sûreté ;
  - des scénarios de type What-if (« Et si ? »), qui postulent des évènements très peu plausibles afin de tester la robustesse du système de stockage.
- L'Andra retient une exigence d'exclusion du risque de criticité afin de préserver la roche hôte. Pour ce faire, la démonstration repose sur la détermination des masses critiques[4] par colis de déchets en tenant compte des évolutions envisageables des colis et des alvéoles à long terme. Ces masses critiques sont supérieures aux masses de matière fissile admissibles dans l'installation et définies dans les spécifications d'acceptation, sauf pour un nombre très limité de colis qui feront l'objet d'une étude particulière.
- L'Andra retient le séisme maximum physiquement possible (SMPP) pour évaluer les effets sur le dimensionnement des ouvrages.
- Les évaluations du scénario d'évolution normale (SEN), en situation de « référence » et « enveloppe », montrent une large prédominance des transferts de la plupart des radionucléides, vers les encaissants, par diffusion via la formation géologique du COx, par rapport à la voie « ouvrage ». Les impacts sanitaires radiologiques restent inférieurs à l'objectif de protection (valeur repère de 0,25 mSv/an).
- Les scénarios de dysfonctionnement (scellements, conteneurs de déchets HA, effondrement d'alvéole) conduisent à des impacts sanitaires comparables à ceux du SEN, et ceux des scénarios plus pénalisants, faille non détectée ou intrusion humaine, restent acceptables au regard des hypothèses très conservatrices et peu vraisemblables.
- L'Andra a pris l'engagement d'étudier un scénario d'abandon anticipé du stockage avant sa fermeture, en réponse à l'intérêt formulé dans le cadre du dialogue technique précité.
- En l'absence de comparaison étayée entre plusieurs options d'architecture selon des critères de sûreté en exploitation et en après fermeture, le caractère optimisé de l'architecture ne peut être établi à ce stade. L'architecture actuelle confère une importance accrue aux scellements, du fait de l'absence de mise à profit d'un positionnement du quartier de stockage MA-VL en aval hydraulique des liaisons surface-fond.
- Le travail de préfiguration mené par l'Andra sur la préservation de la mémoire est satisfaisant à ce stade.
- S'agissant du stockage de l'inventaire de réserve, aucun point rédhibitoire n'a été identifié quant à la sûreté après fermeture, mais des efforts importants restent à fournir pour démontrer l'exclusion du risque de criticité à long terme pour les combustibles usés.

L'ASNR estime que :

- La démarche suivie par l'Andra pour évaluer la sûreté à long terme de l'installation est pertinente.
- Afin de dégager des marges par rapport aux objectifs de protection radiologique, la consolidation des connaissances, notamment sur la solubilité du sélénium ou sur les propriétés hydrauliques de la formation géologique du Cox doit être poursuivie.

[4] La masse critique de matière fissile est la masse minimale de matière suffisant au déclenchement d'une réaction de fission nucléaire en chaîne.

- Le principe d'exclusion du risque de criticité pour l'inventaire de référence est satisfaisant mais pourra s'avérer délicat à démontrer. Aussi, le caractère raisonnablement enveloppe des modèles retenus d'évolution des composants devra être apporté pour conforter cette démonstration.
- Le caractère enveloppe du SMPP retenu devra être conforté, avant le début des creusements des liaisons surface-fond, vis-à-vis de séismes pouvant se produire entre 2 et 5 km de profondeur au droit de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) ou liés à l'hypothèse d'une origine tectonique des structures détectées dans le Trias situé en-dessous de la couche du COx, au droit du futur quartier HA.
- Le système de stockage, avec l'architecture retenue à ce stade, présente une bonne capacité de confinement y compris pour les scénarios très conservateurs, avec des impacts acceptables.
- Toutefois, s'agissant du scénario de « forage d'exploration abandonné et mal scellé » au niveau du stockage, il sera nécessaire d'évaluer le conservatisme de l'évaluation d'impact associée en traitant la situation de « référence » en plus de celle dite « enveloppe » afin de dégager les gains potentiels, en matière d'impact sanitaire radiologique, liés à des compartimentages supplémentaires des galeries. A cet égard, des justifications complémentaires sur le nombre, la localisation et la performance des scellements restent à fournir pour compléter la démonstration de la robustesse de l'architecture du système de stockage retenue.
- Les travaux engagés sur la mémoire devront être poursuivis et approfondis en phase ultérieure.
- Des efforts significatifs restent attendus pour démontrer de manière robuste l'exclusion du risque de criticité à long terme pour les combustibles usés de l'inventaire de réserve, en tenant compte des cumuls de dégradations dans la durée affectant la géométrie des combustibles usés.

Sujets transverses à l'examen de la demande d'autorisation de création de Cigéo

Concernant les composantes du principe de réversibilité

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

Progressivité de la construction

Considérant ce qui suit :

- Le PNGMDR 2022-2026 définit la progressivité comme la *« construction de bâtiments, d'une nouvelle tranche ou de nouveaux types d'alvéoles de stockage [et la] montée en puissance progressive de l'exploitation durant la [phase industrielle pilote]* ».
- A l'issue de l'instruction technique, l'Andra s'est engagée à notamment apporter les compléments suivants aux stades successifs de construction de l'installation :

  Avant le début des travaux de terrassement prévus en 2028 :
  - les résultats des investigations géotechniques prévues sur la zone puits, dans les 12 mois qui suivent la fin de ces investigations.

  Avant le début des creusements des liaisons surface-fond :
  - l'ensemble des paramètres-clés associés à chaque « composant important pour la protection » (CIP) et, s'agissant du CIP « Callovo-Oxfordien », les dispositions permettant de caractériser l'état initial avant et après creusement ;
  - la possibilité de concilier les flux relatifs aux activités nucléaires et ceux relatifs aux activités de fermeture sans impact sur la maîtrise des risques ;
  - une évaluation de l'évolution de la performance des bétons du génie civil dans le temps, basée notamment sur les résultats de l'approche performancielle, en vue d'une potentielle extension de durée de vie du projet et une modification en conséquence, si besoin, des dispositions constructives des ouvrages concernés.

  Avant la construction des bâtiments nucléaires à l'horizon 2040 :
  - les résultats des investigations complémentaires, au niveau des plateformes devant recevoir le bâtiment EP1 et la tête de la descenderie des colis ainsi que, en fonction des enjeux de sûreté, au droit des infrastructures associées aux puits, en vue de prévenir l'instabilité de ces ouvrages ;
  - les compléments et justifications attendus en vue de compléter la démonstration de la maîtrise du risque incendie dans le bâtiment EP1 ;
  - les études de sensibilité pour le comportement des structures et études de non-perforation ;
  - les compléments à l'évaluation de la maîtrise du risque d'inondation par les pluies locales (dispositions de limitation d'accumulation d'eau à certains endroits, justification des valeurs de coefficient de rugosité, mise à jour des modélisations de réseau pluvial et de ruissellement) ;
  - les compléments et justifications attendus en vue de compléter la démonstration de sûreté au regard du risque de chute d'avion ;
  - la prise en compte des données les plus récentes sur l'aléa « neige et vent » ainsi que le risque foudre.

Avant le creusement des premiers alvéoles MA-VL et HA, prévu entre 2040 et 2045 :

- la définition d'une exigence relative à la pression maximale de gaz à ne pas dépasser dans le stockage, qui tienne compte d'une marge par rapport au seuil de fracturation « en grand » du Callovo-Oxfordien ;
- un programme de caractérisation de l'état de contrainte in situ et corrélativement de tenue à la fracturation sous chargement fluide, au fur et à mesure de la construction de l'installation souterraine, afin de vérifier le respect de l'exigence de pression maximale de gaz ;
- la méthodologie de mesure de pression retenue, en vue d'une mise en œuvre opérationnelle ;
- la stratégie de surveillance déportée en alvéole témoin MA-VL, en précisant les paramètres effectivement suivis du domaine de fonctionnement normal et les dispositions de surveillance qui seront in fine retenues dans cet alvéole ;
- les résultats du programme de démonstrateurs d'alvéole HA et les compléments associés à la démonstration de sûreté des colis HA.

En cohérence avec la temporalité de réalisation des ouvrages concernés :

- les dispositions de surveillance relatives aux paramètres-clés associés aux CIP.

L'ASNR considère que certains des éléments mentionnés ci-dessus pourront être transmis dans le cadre de prescriptions techniques subordonnant à son accord la réalisation des opérations concernées.

Adaptabilité des installations

Considérant ce qui suit :

- L'article D. 542-91 du code de l'environnement susvisé prévoit que « […] *l'inventaire de réserve prend en compte les incertitudes liées notamment à la mise en place de nouvelles filières de gestion de déchets ou à des évolutions de politique énergétique. […]. [Cigéo] est également conçu pour être en mesure d'accueillir les substances qui figurent à l'inventaire de réserve, sous réserve le cas échéant d'évolutions dans sa conception pouvant être mises en œuvre en cours d'exploitation à un coût économiquement acceptable* » et l'article D. 542-92 précise que « *s'ils ne figurent pas dans l'inventaire de référence, les combustibles usés issus de l'exploitation des réacteurs électronucléaires, des réacteurs expérimentaux et de la propulsion nucléaire navale sont intégrés dans l'inventaire de réserve.* ».

- De plus, le PNGMDR 2022-2026 rappelle que la décision a été prise *« d'intégrer dans la conception de Cigéo des dispositions permettant d'éventuelles adaptations ultérieures pour y stocker une partie des substances radioactives actuellement considérées comme des matières, et non comme des déchets, comme par exemple les combustibles usés.* ».

- Dans son avis relatif au dossier d'option de sureté susvisé, l'ASN considérait que l'Andra devait « *justifier qu'il n'y a pas d'élément rédhibitoire au stockage de [l'] inventaire de réserve* » et « *permettre d'avoir la raisonnable assurance que la démonstration de sûreté pourra, le cas échéant, être confirmée* ».
- Les études d'adaptabilité de Cigéo présentées dans le dossier de demande déposé par l'Andra s'appuient sur un inventaire de réserve, intégrant :
  - des colis HA et MA-VL induits par l'allongement de la durée de fonctionnement à 60 ans d'une partie des réacteurs nucléaires du parc actuel (scénario SR1[5]) ;
  - les combustibles usés non recyclés (scénario SNR enveloppe) détenus par EDF et le CEA ;
  - des colis de déchets FA-VL (principalement des déchets de graphite, des déchets issus du traitement de combustibles UNGG et des déchets bitumés) pour intégrer les incertitudes liées à la mise en place d'une filière de gestion dédiée aux déchets FA-VL.

[5] Les différents scénarios (SR1, SR2, SNR…) sont décrits dans l'édition 2018 de l'Inventaire national établi par l'Andra.

- L'évolution de la politique énergétique de la France et les décisions associées ont conduit l'Andra à faire évoluer l'inventaire de réserve pour la mise à jour de son dossier de demande d'autorisation de création en amont de l'enquête publique, en y intégrant :
    - un allongement à 60 ans de la durée de fonctionnement de l'ensemble des réacteurs du parc électronucléaire actuel ;
    - les déchets issus du déploiement de six nouveaux réacteurs EPR2 avec une durée de fonctionnement de 60 ans.
- Les principes de conception pour le stockage éventuel des combustibles usés et des déchets FA-VL de l'inventaire de réserve sont similaires à ceux prévus respectivement pour les déchets HA et MA-VL.
- Le stockage des déchets de l'inventaire de réserve conduirait à un allongement de la durée de fonctionnement de Cigéo, avec pour enjeu principal la durabilité des ouvrages de génie civil.

L'ASNR estime que :

- La possibilité du stockage des déchets de l'inventaire de réserve ne présente pas de point rédhibitoire au regard de la sûreté en exploitation à ce stade des études, compte tenu notamment des dispositions similaires à celles retenues pour le stockage des déchets HA et MA-VL de l'inventaire de référence.
- La maîtrise des risques de criticité et de pyrophoricité en exploitation pour le stockage éventuel des combustibles usés, la gestion de la ventilation ainsi que les moyens d'intervention en situation d'incendie nécessiteront des compléments dans les prochaines mises à jour des études d'adaptabilité.
- Les travaux menés par l'Andra sur le comportement mécanique des ouvrages souterrains sont de nature à assurer des performances des bétons sur des durées supérieures à celles associées aux normes prescriptives existantes et compatibles avec une perspective d'augmentation de la durée d'exploitation.
- L'adaptabilité de l'installation dans la durée à d'autres évolutions possibles que celles retenues actuellement dans l'inventaire de réserve (prolongation de l'exploitation des réacteurs au-delà de 60 ans, exploitation de huit réacteurs EPR2 supplémentaires, de réacteurs de type SMR …) devra faire l'objet d'une démonstration et d'un examen dédié lorsque les décisions afférentes à ces installations auront le cas échéant été prises. Dans le cas où il serait envisagé de stocker d'autres déchets que ceux de l'inventaire de référence, une démonstration de sûreté associée devra être apportée.

Flexibilité de l'exploitation

Considérant ce qui suit :

- La flexibilité s'entend comme la capacité à gérer des variations liées à l'inventaire à stocker, aux chroniques de livraison ou aux stratégies de fermeture, ainsi qu'à intégrer des évolutions de connaissances, de technologies ou plus généralement de modalités d'exploitation.
- Certaines incertitudes relatives à l'inventaire de référence demeurent, en particulier le nombre, le volume, le mode de stockage de certains colis primaires de l'inventaire de référence dont le conditionnement reste à définir.

L'ASNR estime qu'afin de garantir une gestion sûre de l'ensemble des déchets de l'inventaire de référence, la flexibilité devra être déclinée par l'Andra en dispositions organisationnelles et matérielles concrètes, garantissant la maîtrise des risques en exploitation et l'absence d'incidence sur la sûreté après fermeture de l'installation.

Récupérabilité des colis

Considérant ce qui suit :

- Les scénarios étudiés par l'Andra forment un ensemble qui constitue une avancée au regard des précédents dossiers. La conception des dispositions prises a progressé et ces dispositions feront l'objet d'un programme d'essais en phase industrielle pilote.
- L'Andra retient deux types de scénarios impliquant la mise en œuvre de retrait de colis : les « retraits d'exploitation », qui font partie de l'exploitation courante de Cigéo, et les « retraits hypothétiques », étudiés au titre de la gestion de situations post-accidentelles ou de la réversibilité.
- Les dispositions de récupérabilité feront l'objet d'essais au cours de la phase industrielle pilote.

L'ASNR estime que :

- Les travaux relatifs à la corrosion des composants métalliques des alvéoles HA, qui font l'objet d'un programme d'étude développé par l'Andra, devront être intégrés dans la démonstration de sûreté concernant le retrait des colis.
- La démonstration de la maîtrise du risque d'explosion dans les alvéoles MA-VL en cours de fermeture et une fois fermés ainsi que dans les alvéoles HA, mentionné ci-avant, devra être acquise en vue de garantir la sûreté des opérations de retrait des colis.

Concernant la phase industrielle pilote

Considérant ce qui suit :

- L'Andra propose que la phase industrielle pilote débute dès l'obtention du décret d'autorisation et comprenne la période de construction de l'installation, la réalisation d'essais en « inactif » suivi d'une période d'essais de démarrage et une période de stockage de colis de déchets radioactifs d'environ 5 ans.
- L'Andra a prévu de stocker durant la phase industrielle pilote 6 types de colis MA-VL et 3 types de colis HA peu exothermiques et n'exclut pas, en fonction de la durée de la phase industrielle pilote et des besoins identifiés, de stocker d'autres types de colis.
- La configuration spatiale de l'installation construite puis exploitée pendant la phase industrielle pilote comprend : les ouvrages de liaison surface-fond (puits et descenderies), le quartier MA-VL composé d'une « boucle » et de 4 premiers alvéoles, un quartier pilote HA représentatif du futur quartier de stockage HA, les zones de soutien logistique, ainsi que les démonstrateurs de scellements, composants essentiels à la sûreté en après fermeture. L'ensemble des formations géologiques sus-jacentes à la couche du Callovo-Oxfordien sont traversées par les puits et descenderies. Les installations en profondeur couvrent, au sein de la couche du Callovo-Oxfordien, une superficie de quelques km^2, soit environ 20 % de la superficie de l'installation à terminaison.
- L'Andra a transmis, en réponse à l'action HA/MA-VL.6 du 5ème Plan national de gestion des matières et déchets radioactifs (PNGMDR), une proposition d'objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote, qui vise notamment à :
    - préparer les installations et ouvrages pour permettre leur exploitation,
    - prendre en main progressivement l'exploitation et consolider l'organisation de l'exploitation nucléaire,
    - déployer progressivement la surveillance,
    - conforter *in situ*, dans les conditions réelles d'environnement, de construction et de fonctionnement industriel de Cigéo, les données utilisées pour sa conception et pour sa démonstration de sûreté,
    - conforter le comportement des ouvrages souterrains et de la formation du COx au regard du maintien de leurs fonctionnalités et préparer la fermeture de l'installation souterraine ;
    - conforter la réversibilité de l'INB Cigéo en :
        - apportant un retour d'expérience pour le déploiement progressif ;
        - testant la flexibilité de l'exploitation ;
        - contrôlant la réalisation des dispositions conservatoires vis-à-vis de l'adaptabilité ;
        - réalisant des essais de récupérabilité.
- L'échéance de mise en service de l'installation limitée à la phase industrielle pilote, initialement envisagée en 2035 par l'Andra étant désormais prévue en 2050, ceci devrait permettre à l'Andra d'acquérir un ensemble de résultats suffisant pour faire aboutir les composantes de la démonstration de sûreté le nécessitant.
- La stratégie de surveillance de l'installation souterraine définie par l'Andra s'appuie sur des mesures dans des alvéoles témoins et la surveillance de paramètres-clés. Toutefois, les dispositions dédiées à cette surveillance et la représentativité des mesures déportées demandent encore une attention particulière.

L'ASNR estime que :

- Les objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote proposés par l'Andra, bien que satisfaisants sur le plan général, restent préliminaires et devront être précisés au regard des besoins de compléments et de consolidation de la démonstration de sûreté présentés dans cet avis.
- L'Andra devra établir, dès le début des creusements, un programme de travail à mener lors de la phase industrielle pilote (en inactif et en actif).
- Le nombre de colis à stocker durant la phase industrielle pilote ainsi que le rythme des opérations de stockage doivent être évalués sur la base du programme des essais en actif relatifs aux étapes du processus de mise en stockage et de retrait des colis.
- Les choix de types de colis retenus par l'Andra pour être stockés lors de la phase industrielle pilote sont pertinents dans l'objectif de tester les opérations et modes de stockage dans Cigéo.
- L'activité de stockage de déchets radioactifs doit se dérouler pendant une période suffisante dans le temps afin de permettre à l'Andra de prendre en main l'exploitation de l'installation. Le rapport de fin de phase industrielle pilote, prévu par l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé, couvrirait ainsi les résultats des travaux définis pour cette phase et les premiers retours issus des opérations de construction des premiers ouvrages et de stockage. Ce rapport pourrait intervenir concomitamment à la remise du rapport de fin d'essais de démarrage mentionné à l'article R. 593-34 du code de l'environnement.
- Les arrêts et redémarrages d'une installation nucléaire étant des phases sensibles en termes de sûreté et de maintien des compétences, la continuité de l'exploitation entre la fin de la phase industrielle pilote et la mise en service complète de l'installation représente un enjeu de sûreté dans l'exploitation de l'installation. Il conviendra en conséquence que les modalités préalables à la délivrance de l'autorisation de mise en service complète, prévues à l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé, soient anticipées, sous couvert de l'autorisation de mise en service limitée à la phase industrielle pilote.

Mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté 10 ans après délivrance de l'autorisation, le cas échéant.

L'instruction de la demande d'autorisation a mis en lumière le besoin de justifications et de compléments au dossier. Outre les éléments identifiés en première partie de cet avis, l'Andra s'est notamment engagée à intégrer lors de la prochaine mise à jour de la version préliminaire du rapport de sûreté :

- la justification de l'exclusion de scénarios au regard des dispositions de conception, de réalisation et d'exploitation retenues ;
- la stratégie de qualification des éléments importants pour la protection (EIP) inaccessibles,
- les critères et les méthodes permettant de justifier la qualification des EIP au regard du respect de leurs exigences définies (ED) ;
- à l'analyse de sûreté-criticité : l'ensemble des hypothèses retenues pour établir la démonstration des masses de matière fissile admissibles et leurs justifications ainsi que les modalités de contrôle associées ;
- pour les colis primaires pour lesquels les masses de matière fissile maximales évaluées par les producteurs de déchets et celles autorisées à Cigéo sont proches : la quantification des marges en situation anormale de dépassement des limites, en recourant si besoin à des hypothèses de modélisation aussi réalistes que possible en phase d'exploitation ;
- la justification du classement du scénario d'incendie consécutif à une collision entre un engin de transfert de colis et un autre type de véhicule ;
- la consolidation des scénarios d'emballement enveloppes en s'appuyant sur des considérations phénoménologiques de la réactivité des enrobés bitumés et du comportement des fûts d'enrobés sous sollicitation thermique ainsi que la consolidation de la stratégie de détection et d'intervention présentée dans le dossier de DAC et la justification de sa suffisance pour exclure la propagation d'un emballement de réactions exothermiques ;

- la justification du respect des exigences de comportement assignées aux structures de génie civil des bâtiments nucléaires de surface constituant la dernière barrière de confinement à l'égard des effets induits par la chute d'un avion suivie d'un incendie ; à défaut de justification de l'exigence de non-introduction de kérosène, la définition des charges calorifiques dont la combustion est à cumuler à celle du kérosène en cas de chute d'un avion ;
- la justification de la résistance au feu des voussoirs ainsi que celle du revêtement, par une méthode à l'état de l'art applicable aux ouvrages souterrains, en tenant compte des risques d'éclatement du béton et sur une durée permettant le refroidissement des structures ;
- le programme des travaux à réaliser en phase industrielle pilote « inactive » permettant de conforter la démonstration de sûreté ;
- la consolidation de la démonstration de l'exclusion du risque de criticité en après-fermeture ;
- la consolidation de l'évaluation du scénario What-if « discontinuité traversante », en tenant compte d'une discontinuité au sein du quartier de stockage HA et de l'ensemble des radionucléides mobiles et peu mobiles d'intérêt, dont les éléments transuraniens et leur filiation ;
- l'étude d'une situation d'abandon du stockage pendant son fonctionnement, reposant sur l'identification, le cas échéant, des enseignements notamment en ce qui concerne les modalités d'une éventuelle fermeture préventive anticipée du stockage, permettant de limiter les conséquences de telles situations sur la sûreté à long terme.

3.2 Rapport de la Commission nationale des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2)

Le rapport de la Commission nationale des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) sur la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo est appelé par l'article L. 542-10-1, alinéa 12 du code de l'environnement.

La Commission nationale a rendu son rapport public en décembre 2025.

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION

DES RECHERCHES ET ÉTUDES RELATIVES À LA GESTION DES MATIÈRES ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Instituée par la Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006

RAPPORT SUR LE DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION DE CRÉATION DU CENTRE CIGÉO

Appelé par l'article L542-10-1 du code de l'environnement

DÉCEMBRE 2025

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION

DES RECHERCHES ET ÉTUDES RELATIVES
À LA GESTION DES MATIÈRES ET DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Instituée par la Loi n° 2006-739 du 28 juin 2006

RAPPORT SUR LE DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION DE CRÉATION DU CENTRE CIGÉO

Appelé par l'article L542-10-1 du code de l'environnement

Décembre 2025

Résumé - conclusions

La Commission a examiné en détail les fondements scientifiques sur lesquels s'appuie le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) de l'installation Cigéo. Pour évaluer la démarche scientifique de l'Andra, la Commission a conduit une analyse approfondie de la connaissance du site, des installations prévues et de leur fonctionnement, ainsi que de quelques questions transverses, qui relèvent toutes des enseignements qu'elle a acquis au cours des trente ans durant lesquels elle a suivi les travaux sur le stockage géologique profond en France et à l'étranger.

Le site est correctement caractérisé par l'Andra sur le plan géologique, tant sédimentaire que structural. Les incertitudes sur la géométrie du Callovo-Oxfordien (COx) sont suffisamment réduites pour assurer la présence d'une garde argileuse saine d'au moins 50 mètres d'épaisseur de part et d'autre du stockage. Les travaux réalisés par l'Andra, basés sur des expérimentations notamment *in situ* au laboratoire souterrain et des simulations numériques, fournissent une connaissance robuste et précise des propriétés du COx. Ses caractéristiques essentielles sont sa très faible perméabilité et ses propriétés structurales et chimiques, qui font que les transferts d'espèces chimiques se feront essentiellement par diffusion. En outre, le transfert de la majorité des espèces porteuses de la radioactivité, en particulier les cations, sera très fortement ralenti dans le COx, voire arrêté, en raison de leur interaction avec la matrice argileuse. Seuls quelques radionucléides atteindront les limites du COx après des centaines de millénaires. Ces propriétés favorables sont les fondements de la fonction de confinement du COx. Les autres propriétés relevant de la thermique ou de la mécanique ont fait l'objet de caractérisations détaillées. Il ressort de l'ensemble des études effectuées par l'Andra que la caractérisation du site est complète et que le COx assure l'ultime barrière de confinement de la radioactivité.

Le contexte hydrogéologique régional est décrit grâce à la connaissance abondante de la géologie du Bassin parisien. La modélisation présentée par l'Andra restitue les grandes lignes de l'écoulement des eaux souterraines. La Commission rappelle que les aquifères ne font pas partie des composants du système de stockage et qu'ils ne remplissent pas de fonction de sûreté. Les projections d'évolution du fonctionnement des aquifères sont néanmoins utilisées pour le calcul du transfert des radionucléides depuis les limites du COx jusqu'aux exutoires et pour le calcul de la dose qui est basé sur des scénarios convenus prescrits par la réglementation sur les évaluations de sûreté.

La Commission a porté une attention particulière au rôle et aux performances des différentes barrières de confinement s'opposant à la migration des radionucléides présents dans les colis de déchets HA et MAVL. Les données de chimie concernant le relâchement des radionucléides par les colis et leur migration ont été établies sur la base d'expériences conduites pendant plus de trente ans par une large communauté de chimistes en France et à l'étranger, et publiées. Les calculs des termes sources des quartiers HA et MAVL résultent de l'application de modèles, tant pour le relâchement des radionucléides par les colis que pour leur migration vers le COx sain. Tous conduisent à des valeurs conservatives vis-à-vis des conséquences sur l'homme et l'environnement.

Les études réalisées par l'Andra pour sélectionner, formuler les matériaux et caractériser leur comportement lui ont permis d'acquérir les données suffisantes pour la modélisation à long terme de l'évolution du système de stockage. Bien que l'Andra ait choisi des matériaux courants, la disponibilité des matériaux identifiés pourrait changer au cours de l'exploitation du stockage. Pour remédier à l'évolution des disponibilités, l'Andra prévoit de poursuivre des travaux scientifiques pour ménager une certaine flexibilité dans les choix de matériaux au moment opportun, ce que la Commission soutient.

Pour ce qui concerne l'impact du stockage sur l'environnement, la Commission estime que l'étude d'impact est complète et convaincante. La démarche suivie par l'Andra pour simuler et prendre en compte l'impact des variations climatiques à court et long terme sur la mise en œuvre du projet Cigéo est pertinente : elle a utilisé les résultats des travaux produits par la communauté internationale concernée par la recherche sur le climat.

La Commission considère que la méthodologie et les outils de calculs utilisés par l'Andra pour décrire le fonctionnement intégré du stockage et quantifier le transfert aux exutoires sont qualifiés et correctement appliqués. Les résultats présentés à l'appui de son évaluation de la sûreté à long terme sont robustes et scientifiquement fondés. Ils visent à donner une valeur majorée des impacts sur l'homme et l'environnement à l'attention de l'Autorité de sûreté.

La Commission estime que les choix de géométrie pour les alvéoles HA sont de nature à préserver les propriétés du COx. La Commission considère que l'approche simplifiée qui a été utilisée par l'Andra pour le dimensionnement des quartiers HA a été effectivement qualifiée. Pour protéger les colis HA de la corrosion, un matériau de remplissage de type coulis cimentaire est injecté dans l'espace annulaire en extrados du chemisage. La Commission considère que l'Andra a démontré qu'il existe des matériaux qui répondent à cette nécessité.

La conception de l'alvéole MAVL s'appuie sur la connaissance fine du comportement mécanique de la roche hôte associée à un fort retour d'expérience au laboratoire souterrain. La Commission estime que les dispositions constructives retenues par l'Andra sont de nature à maintenir l'intégrité des alvéoles bien au-delà de la fermeture du stockage. L'Andra a étudié deux options de stockage dans Cigéo pour les déchets bitumés : le stockage en l'état de ces déchets dans des alvéoles MAVL renforcés vis-à-vis du risque incendie ou le stockage des déchets issus de la neutralisation des bitumes dans des alvéoles MAVL non dédiés. Cette démarche fournit un exutoire à ces déchets quels que soient les résultats du programme de R&D encore en cours.

Pour ce qui concerne les ouvrages de scellement, la Commission estime que l'Andra a fait la démonstration de sa capacité à mettre en place le matériau de scellement et à choisir une formulation qui permette d'atteindre les propriétés hydro-mécaniques désirées. La Commission note que le maintien d'une pression de gaz suffisamment faible au sein du stockage pour ne pas conduire à une fracturation du COx à l'horizon de quelques dizaines de milliers d'années après fermeture nécessite l'emploi d'un matériau argileux perméable au gaz et imperméable à l'eau, déjà mis au point en laboratoire. L'Andra a prévu de poursuivre la mise au point de son concept, notamment en programmant des démonstrateurs d'ensemble *in situ* durant la Phase industrielle pilote (Phipil).

La définition de la Phipil est importante dans le processus d'autorisation de création de Cigéo. La Commission estime que les critères de réussite de la Phipil proposés par l'Andra sont globalement pertinents. Elle recommande toutefois d'y ajouter la démonstration de la cadence atteignable par l'installation. En effet, cette cadence conditionne la durée d'exploitation qui

sera nécessaire pour stocker l'inventaire de déchets prévu. Cette durée devra être compatible avec la durée de vie des infrastructures et des équipements.

L'Andra propose de poursuivre l'exploitation nominale de l'installation pendant l'instruction du rapport de fin de Phipil, dans les conditions fixées par l'autorisation initiale de mise en service, limitée à la Phipil. La Commission appuie cette proposition afin que l'activité ne soit pas mise en sommeil pendant un laps de temps préjudiciable au maintien de la capacité opérationnelle de l'installation.

La Commission estime que la conception de l'installation Cigéo prend en compte les quatre composantes de la réversibilité : progressivité de la construction, adaptabilité de la conception, flexibilité d'exploitation, récupérabilité des colis déjà stockés pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture de l'installation de stockage. La mise en œuvre de la récupérabilité, prise en compte dès le début de la conception par l'Andra, est approchée de façon rigoureuse et pragmatique.

La Commission estime que la proposition de l'Andra pour la stratégie de fermeture progressive est pertinente et prudente car elle évite les inconvénients de la coactivité entre des opérations industrielles de natures différentes tout en amenant certains quartiers en situation de sûreté passive bien avant la fermeture du stockage dans son ensemble.

La Commission considère que les recherches conduites par l'Andra, exposées dans le dossier de DAC, ont permis d'élaborer un concept fiable pour un stockage géologique profond de déchets radioactifs à vie longue. Le choix du site et l'ensemble des dispositions constructives sont de nature à isoler les déchets des phénomènes de surface et des actions humaines, et à limiter le transfert des radionucléides et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets jusqu'à la biosphère, en réponse aux deux principales fonctions de sûreté assignées à Cigéo.

L'ensemble des travaux décrits dans le dossier de DAC valide scientifiquement la conception de l'installation. La configuration technique du stockage sera, pour autant, appelée à évoluer au cours de la durée d'ordre séculaire qui séparera le décret d'autorisation de création de la loi autorisant la fermeture de l'installation.

Il est indispensable que toutes les évolutions de l'installation de stockage Cigéo, qu'elles soient voulues ou subies, soient instruites avec rigueur.

En conséquence, la Commission recommande fortement de maintenir une capacité de R&D de haut niveau à l'Andra sur le stockage géologique profond, incluant des moyens d'expérimentation *in situ*, bien au-delà de la mise en service du stockage et de la Phipil.

6

Recommandations de la Commission

La Commission recommande que l'Andra achève la mise au point de son concept de scellement en programmant des démonstrateurs d'ensemble in situ.

La Commission recommande que l'Andra précise sa stratégie de monitoring et de surveillance avant la mise en service du stockage.

La Commission recommande que, dans une approche prudente, l'Andra établisse et teste des procédures de réparation des structures de génie civil endommagées.

La Commission observe que dans un cas au moins (dimensionnement thermique des alvéoles MAVL), les résultats des études ont conduit à remplacer une des hypothèses conservatives par une disposition supplémentaire de sûreté de nature organisationnelle. La Commission observe qu'il est dès lors essentiel de s'assurer de la pérennité de l'application effective de cette disposition pendant toute l'exploitation du stockage. La Commission recommande que cette disposition soit très précisément documentée et assortie d'un dispositif de contrôle robuste dans la durée.

La Commission estime que les critères de réussite de la Phipil proposés par l'Andra sont pertinents. Elle recommande toutefois d'y ajouter la démonstration de la cadence atteignable par l'installation.

La Commission recommande que le nombre de colis stockés pendant la phase industrielle pilote et la durée de celle-ci soient suffisants pour apprécier la capacité de l'installation à absorber des aléas (perturbations de livraison, pannes de l'installation, etc.) et en particulier démontrer que la capacité d'entreposage tampon sur site est suffisante.

La Commission recommande que la procédure de fin de Phipil, incluant les critères de réussite et leur mode d'évaluation, soit fixée dans le décret d'autorisation de création.

L'Andra propose de ne pas interrompre les opérations de mise en stockage pendant l'instruction du rapport de fin de Phipil. La Commission recommande que cette proposition soit acceptée afin que l'activité ne soit pas mise en sommeil pendant un laps de temps risquant d'être préjudiciable au maintien de la capacité opérationnelle de l'installation.

Compte tenu de la durée inhérente aux procédures administratives qui seront mises en œuvre après la parution du rapport de fin de Phipil, la Commission recommande de ne pas limiter le nombre de colis qui seront stockés au titre de la première autorisation de mise en service.

La Commission recommande que l'assurance de la capacité de récupérer un colis HA soit apportée par un essai dans un alvéole de longueur égale à celle qui sera retenue pour le quartier de stockage HA.

La Commission recommande de dissocier les études d'adaptabilité de l'instruction de la demande d'autorisation de création, qui ne porte que sur le stockage de l'inventaire de référence.

La Commission recommande fortement de maintenir une capacité de R&D de haut niveau à l'Andra sur le stockage géologique profond, incluant des moyens d'expérimentation in situ, bien au-delà de la mise en service du stockage et de la Phipil.

La Commission recommande la poursuite des actions de recherche conduites sur des matériaux innovants. Ces recherches prospectives peuvent alimenter des évolutions du concept si elles s'avèrent utiles.

La Commission recommande de poursuivre les études sur la production d'hydrogène dans les alvéoles HA en conditions d'exploitation en vue d'optimiser la maîtrise du risque de formation d'une atmosphère explosive.

La Commission recommande que les conservatismes soient réévalués lors de l'instruction des évaluations futures du stockage à la lumière de la progression des connaissances.

La Commission observe que les incertitudes sont abordées dans le dossier indépendamment paramètre par paramètre. À l'appui de la future mise en service, la Commission recommande de poursuivre les études en utilisant des méthodes de traitement multiparamétriques (de type Monte Carlo).

La Commission recommande que les évaluations de sûreté déterministes soient, notamment en vue des optimisations futures du système de stockage, enrichies par des évaluations probabilistes pour tout ou partie du stockage, en particulier en définissant les fonctions de densité de probabilité des paramètres dans leur domaine de variation.

La Commission estime que l'étude d'impact apparaît complète et convaincante. Elle recommande que les versions ultérieures adoptent autant que possible un format plus compact, limité aux rubriques du format imposé, afin d'améliorer sa lisibilité.

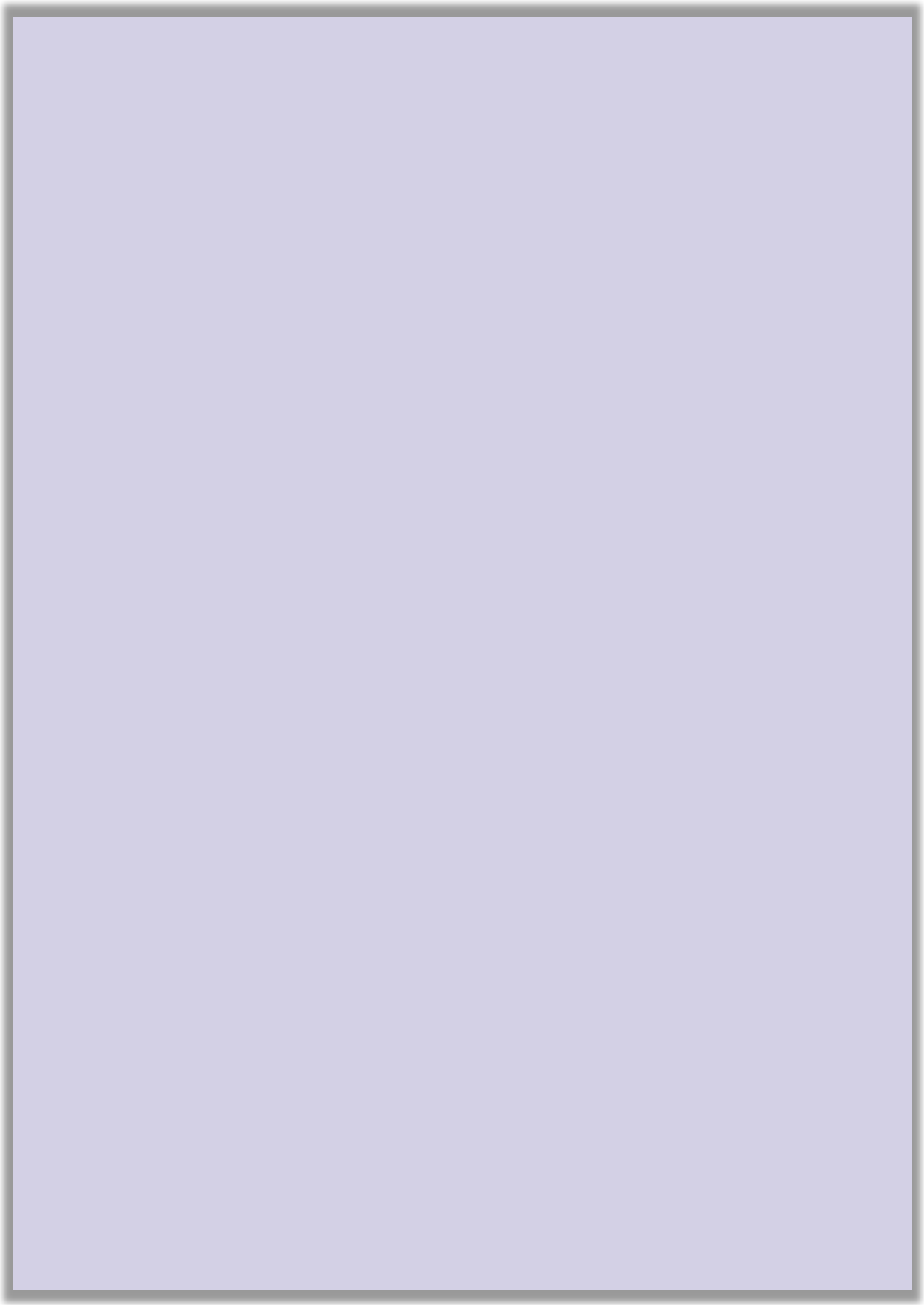


Table des matières

Résumé - conclusions *3*
Recommandations de la Commission *7*
Table des matières *9*
Avant-propos *13*
1 Introduction *15*
2 Principes fondamentaux de sûreté, approche systémique *17*
2.1 Les grands principes **17**
2.2 La méthodologie Andra **18**
2.3 Gestion des incertitudes **21**
2.3.1 Introduction 21
2.3.2 Typologie des incertitudes 21
2.3.3 Incertitudes et évaluations de la sûreté 22
2.3.4 Gestion des incertitudes par l'Andra, notion de conservatisme 22
2.3.5 Avis et recommandations de la Commission 24
3 Périmètre et méthode de l'évaluation conduite par la Commission *27*
3.1 Contenu scientifique du dossier de DAC **27**
3.2 Périmètre de l'évaluation de la Commission **28**
3.3 Méthode d'évaluation de la Commission **28**
4 Piliers scientifiques du dossier de DAC *31*
4.1 Introduction **31**
4.2 Géologie **32**
4.2.1 Compréhension du contexte géologique 32
4.2.2 Objets structuraux dans le bloc 3D de la ZIRA 33
4.2.3 Appréciation de la Commission 34
4.3 Contexte hydrogéologique régional et de secteur **35**
4.3.1 Démarche de l'Andra 35
4.3.2 Formations hydrogéologiques 36
4.3.3 Rôle des failles pour l'hydrogéologie en grand, à l'échelle régionale 38
4.3.4 Modèle hydrogéologique à grande échelle 38
4.3.5 Projections géomorphologiques et hydrogéologiques 38
4.3.6 Avis de la Commission 39
4.4 Propriétés du COx **40**
4.4.1 Composition minéralogique 40
4.4.2 Données sismiques 41
4.4.3 Propriétés thermiques 41
4.4.4 Porosité des différentes unités lithologiques 41
4.4.5 Perméabilité ou conductivité hydraulique 42
4.4.6 Diffusion des espèces chimiques en solution 42
4.4.7 Rétention des espèces chimiques cationiques 43
4.4.8 Comportement mécanique du COx 44
4.4.9 Avis de la Commission sur les propriétés du COx et sur leur préservation 45
4.5 Matériaux **46**

4.5.1 Démarche scientifique d'acquisition des connaissances 47
4.5.2 Aciers 48
4.5.3 Matériaux argileux 48
4.5.4 Matériaux cimentaires 49
4.5.5 Avis de la Commission sur l'étude des matériaux 50
4.5.6 Matériaux innovants prospectifs 51

4.6 Chimie des radionucléides et composants de Cigéo 51
4.6.1 Propriétés chimiques 51
4.6.2 Colis de déchets HA 52
4.6.3 Colis de déchets MAVL 53
4.6.4 Migration des radionucléides dans les alvéoles 53
4.6.5 Appréciation de la Commission sur les données disponibles 54

4.7 Chimie des interfaces 55
4.7.1 Interactions COx-béton-perturbation alcaline 55
4.7.2 Quartier HA et interactions COx-fer-verre 55
4.7.3 Quartier MAVL et interactions COx-sels-matières organiques-perturbations saline et organique 55
4.7.4 Appréciation de la Commission sur les données disponibles 56

4.8 Couplages entre mécanismes physiques et physico-chimiques 56

4.9 Environnement 57

4.10 Évolution du climat 58

4.11 Modélisation et outils intégrateurs 59
4.11.1 Expression de la complexité de la modélisation 60
4.11.2 Prise en compte de la complexité et de son incertitude, vers des modèles opérationnels de sûreté 61

5 Rôle des composants pour répondre aux exigences de sûreté et à l'exigence de récupérabilité 63

5.1 Introduction, choix des éléments étudiés 63

5.2 Choix d'architecture 65
5.2.1 Conserver les propriétés de confinement du COx 66
5.2.2 Limiter les circulations d'eau pour atténuer et retarder la migration des radionucléides 66
5.2.3 Assurer la réversibilité du stockage 67

5.3 Alvéoles HA 67
5.3.1 Préserver les propriétés du COx 68
5.3.2 Limiter le relâchement des radionucléides, atténuer et retarder leur migration 69
5.3.3 Assurer la récupérabilité des colis HA 70

5.4 Alvéoles MAVL 71
5.4.1 Préserver les propriétés du COx 71
5.4.2 Limiter le relâchement des radionucléides, atténuer et retarder leur migration 72
5.4.3 Assurer la récupérabilité des colis MAVL 73

5.5 Alvéoles MAVL pour le stockage des déchets bitumés 74
5.5.1 Préserver les propriétés du COx 75
5.5.2 Modes de stockage des enrobés bitumés 75

5.6 Galeries 76

5.7 Ouvrages de scellement 77
5.7.1 Préserver les propriétés du COx 78
5.7.2 Fonction limiter les flux d'eau *via* les LSF 78
5.7.3 Avis de la Commission 79

5.8 Fonctionnement intégré du stockage, transfert aux exutoires 79

5.8.1 Flux issus des colis HA 80
5.8.2 Flux issus des colis MAVL 81
5.8.3 Flux issus des alvéoles jusqu'au COx sain 81
5.8.4 Flux traversant le COx, transferts en grand jusqu'aux exutoires 82
5.8.5 Mise en œuvre de la démarche de modélisation 83

6 Les questions transverses 85

6.1 Phase industrielle pilote 85
6.1.1 Enjeux de la phase industrielle pilote pendant la construction initiale du stockage 86
6.1.2 Enjeux de la phase industrielle pilote pendant le début d'exploitation industrielle du stockage 86
6.1.3 Conditions d'achèvement de la Phipil. 87

6.2 Modalités de la réversibilité 88
6.2.1 Progressivité 89
6.2.2 Flexibilité 89
6.2.3 Récupérabilité 89
6.2.4 Adaptabilité 90
6.2.5 Commentaires et recommandations de la Commission 91

6.3 Stratégie de fermeture de l'installation 92

6.4 Monitoring et surveillance de Cigéo 93

6.5 Mémoire du stockage 94

7 Synthèse 97

Glossaire 101

Composition de la commission nationale d'évaluation 105

Listes des réunions thématiques organisées avec l'Andra 107

Composition du dossier de demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base Cigéo 109

Annexe I. Géologie 111

I.1 **Géométrie de la formation géologique 111**

I.2 **Objets structuraux dans le bloc 3D de la ZIRA 111**

I.3 **Sismicité 114**

I.4 **État de contraintes naturelles 114**

I.5 **Modèle d'évolution tectonique et climatique 114**

Annexe II. Hydrogéologie 117

Annexe III. Propriétés du COx 121

III.1 **Propriétés thermiques 121**

III.2 **Propriétés hydrodynamiques 122**

III.3 **Surpression d'eau dans le COx 122**

III.4 **Propriétés de transfert 124**

III.5 **Comportement mécanique 125**

III.6 **Conséquences du comportement mécanique du COx sur la réalisation des ouvrages 125**

Annexe IV. Chimie : implication sur les termes sources et la migration des radionucléides 129

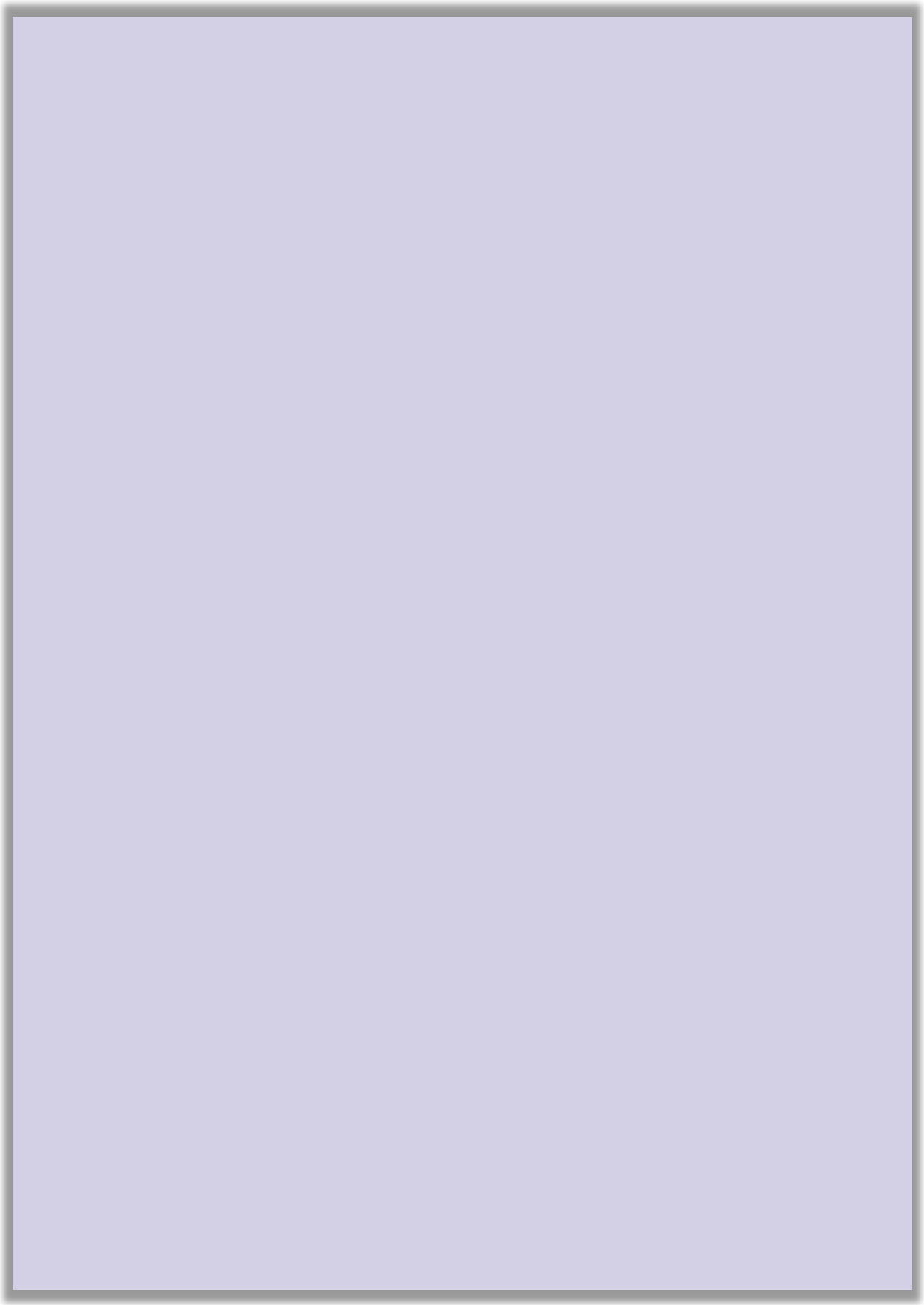
IV.1 Rôle de la chimie dans l'isolement et confinement de la radioactivité 129
IV.1.1 Résultats des calculs de l'Andra 129
IV.1.2 Fonctionnement phénoménologie de Cigéo en exploitation impliquant la chimie 132
IV.1.3 Fonctionnement phénoménologie de Cigéo après sa fermeture impliquant la chimie 132
IV.1.4 Modèles et simulations 133
IV.1.5 De la science aux calculs de performances pour les scénarios de sûreté 134

IV.2 Termes sources dans le quartier HA 134
IV.2.1 Perturbations chimiques dans le quartier HA 134
IV.2.2 Interactions eau-colis de verres nucléaires 135
IV.2.2.1 Généralités 135
IV.2.2.2 Altération en situation de stockage 137
IV.2.2.3 Termes sources 138
IV.2.2.4 Autres verres 138
IV.2.3 Choix des paramètres pour les évaluations quantitatives en appui de l'analyse de sûreté 139

IV.3 Migration des éléments dans le quartier HA 140
IV.3.1 Généralités 140
IV.3.2 Diffusion des espèces chimiques dans les alvéoles HA 141
IV.3.3 Diffusion des espèces chimiques dans le COx sain 142
IV.3.4 Choix des paramètres pour les évaluations quantitatives en appui de l'analyse de sûreté 142
IV.3.5 Conclusion 142

IV.4 Termes sources du quartier MAVL 142
IV.4.1 Généralités sur les colis de déchets MAVL 142
IV.4.2 Perturbations chimiques dans le quartier MAVL 143
IV.4.2.1 Perturbations chimiques en période l'exploitation 143
IV.4.2.2 Phénoménologie sommaire après fermeture des alvéoles 143
IV.4.2.3 Dégradation des matériaux cimentaires 144
IV.4.2.4 Interactions eau-colis MAVL 144
IV.4.2.5 Corrosion des colis de déchets métalliques 145
IV.4.2.6 Dégradation des colis de déchets salins 145
IV.4.2.7 Dégradation des colis de déchets organiques 147
IV.4.3 Choix des paramètres pour les évaluations quantitatives en appui de l'analyse de sûreté 147

IV.5 Migration des élements dans le quartier MAVL 148
IV.5.1 Perturbations chimiques et migration des éléments 148
IV.5.2 Alvéoles avec colis ne contenant ni sels ni matière organique 149
IV.5.3 Milieux cimentaires 149
IV.5.4 COx perturbé par des milieux cimentaires 150
IV.5.5 Alvéoles contenant des colis salins 150
IV.5.5.1 Milieux cimentaires salins 150
IV.5.5.2 COx perturbé par les sels 151
IV.5.6 Alvéoles contenant des déchets organiques 151
IV.5.6.1 Milieux cimentaires perturbés par des molécules organiques 151
IV.5.6.2 COx perturbé par les molécules organiques 152
IV.5.7 Choix des paramètres pour les évaluations quantitatives de performances en appui de l'analyse de sûreté 152
IV.5.7.1 Alvéoles 153
IV.5.7.2 COx perturbé 153
IV.5.8 Conclusion 153



Avant-propos

Le présent rapport a pour objet d'analyser les fondements scientifiques et techniques des travaux réalisés par l'Andra à l'appui de sa demande d'autorisation de création de l'installation de stockage géologique Cigéo en Meuse Haute-Marne, à 500 mètres de profondeur, au sein de la formation argileuse du Callovo-Oxfordien. Les objectifs d'isolement et de confinement des déchets nucléaires assignés à Cigéo sont en accord avec les standards internationaux. Aussi, la Commission a conduit son examen du dossier de DAC en évaluant la pertinence de la démarche scientifique de l'Andra.

L'évaluation de la sûreté de l'installation Cigéo n'est pas du ressort de la Commission, mais de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection à laquelle la Commission ne saurait se substituer.

Le rôle de la Commission est d'évaluer les bases scientifiques et la robustesse de la démarche scientifique suivie par l'Andra. Elle n'a pas abordé la question du calcul de la dose à l'individu critique.

L'Andra est responsable de la conception de son ouvrage. Il n'appartient pas à la Commission de remettre en cause ses choix de conception, mais d'évaluer les connaissances sur lesquelles s'appuie l'Andra pour ses calculs de performance du système de stockage.

1 Introduction

La stratégie française de gestion des déchets radioactifs de haute et moyenne activité à vie longue prévoit leur stockage géologique en application du principe énoncé à l'article L542-1-2 du code de l'environnement : « Après entreposage, les déchets radioactifs ultimes ne pouvant pour des raisons de sûreté nucléaire ou de radioprotection être stockés en surface ou en faible profondeur font l'objet d'un stockage en couche géologique profonde. »

L'Andra a déposé en janvier 2023 une demande d'autorisation de création d'un tel stockage dénommé Cigéo situé sur les territoires de la Meuse et de la Haute-Marne. Conformément à l'article 1er de la loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016, codifié à l'article L542-10-1 du code de l'environnement, la demande d'autorisation de création de Cigéo (DAC) donne lieu à un rapport de la Commission nationale d'évaluation (CNE), qui sera joint à l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) et au compte-rendu des débats publics de 2005 et de 2013 organisés par la Commission nationale du débat public (CNDP). Ces documents seront examinés par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST).

Le présent rapport a pour objet d'analyser les fondements scientifiques et techniques des travaux réalisés et présentés par l'Andra pour évaluer la faisabilité et la sûreté de Cigéo. Il s'appuie sur plus de trente années de travaux d'évaluation continue, par la Commission, des recherches et des études relatives à la gestion des déchets radioactifs. Au cours de cette période, la Commission a émis de nombreuses recommandations qui ont d'ailleurs contribué à la réflexion de l'Andra lors de l'élaboration de son dossier de DAC.

Ce rapport traite dans un premier temps d'aspects méthodologiques. Le chapitre 2 aborde les grands principes de la sûreté et la méthodologie que l'Andra a choisie pour les appliquer. Le chapitre 3 décrit la méthode de travail de la Commission pour l'analyse du dossier de DAC et précise les limites de l'évaluation présentée dans le présent rapport.

L'évaluation proprement dite de la Commission est présentée ensuite. Le chapitre 4, qui constitue le cœur du travail de la Commission, examine la pertinence et la robustesse des acquis scientifiques qui fondent la démarche de sûreté. Le chapitre 5 s'intéresse aux composants du système de stockage qui jouent un rôle prépondérant pour assurer la récupérabilité pendant la phase d'exploitation et la sûreté à long terme après fermeture du stockage.

La Commission aborde au chapitre 6 quelques questions transverses, qui, sans relever exclusivement du domaine scientifique, lui semblent pouvoir être utilement éclairées par l'expérience issue du suivi continu des travaux sur le stockage géologique depuis plus de trente ans.

Enfin, une synthèse est présentée au chapitre 7. Elle évoque les travaux de recherche et développement qui seront nécessaires pendant toute la durée de la construction et de l'exploitation du stockage, travaux qui justifient qu'une capacité de R&D de haut niveau soit maintenue à l'Andra pendant toute cette période.

16

2 Principes fondamentaux de sûreté, approche systémique

2.1 Les grands principes

L'objectif fondamental de sûreté assigné au stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde est la protection de la santé des personnes et de l'environnement. Celle-ci doit être assurée envers les risques liés à la dissémination de substances radioactives et de toxiques chimiques (selon le guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profond, édition 0 de février 2008), tant durant la phase d'exploitation du stockage qu'après sa fermeture.

La première phase de la vie du stockage correspond à la construction des installations de surface et souterraines, puis à la mise en stockage des colis de déchets. Il s'agit de travaux et d'activités classiques de grands chantiers pour lesquels la sûreté est active, fondée sur l'assurance qualité et la règlementation INB.

En seconde phase de vie, le système de stockage assure la sûreté après fermeture, tel que défini par l'Andra. Il comprend la roche hôte, c'est-à-dire la couche d'argilites du Callovo-Oxfordien (COx) dans laquelle sont implantés les alvéoles de stockage, les colis de stockage des déchets placés dans les alvéoles et les galeries et puits remblayés et scellés.

La réglementation nationale, qui intègre les standards internationaux, requiert également qu'après la fermeture de l'installation de stockage, la protection de la santé des personnes et de l'environnement devienne indépendante d'une surveillance et d'un contrôle institutionnel, qui ne peuvent évidemment être maintenus de façon certaine que sur une période limitée. Ainsi, après fermeture, la protection de la santé des personnes et de l'environnement doit reposer sur des systèmes passifs, sans nécessiter d'intervention.

À ces exigences de sûreté s'ajoute, en application du code de l'environnement, une obligation de réversibilité qui inclut notamment « la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérentes avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage » (article L542-10-1 du code de l'environnement).

La réalisation des objectifs de sûreté se fait en assignant au système de stockage et à ses composants des fonctions de sûreté multiples et complémentaires.

L'Andra assigne au système de stockage deux fonctions de sûreté fondamentales :

- isoler les déchets des phénomènes de surface et des actions humaines banales ;
- limiter le transfert des radionucléides et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets jusqu'à la biosphère.

La deuxième fonction se décline à son tour en trois sous-fonctions (ou fonctions de second niveau) :

- s'opposer à la circulation d'eau ;
- limiter le relâchement des radionucléides et des substances toxiques chimiques, et les immobiliser dans les alvéoles de stockage ;

- retarder et atténuer la migration des radionucléides et des substances toxiques chimiques qui auraient été relâchés hors des colis puis des alvéoles de stockage.

La mise en œuvre de ces trois sous-fonctions implique en priorité de « préserver les caractéristiques favorables des argilites de la couche du Callovo-Oxfordien et des composants ouvragés contribuant à la sûreté après fermeture » tout au long de la construction, de l'exploitation et de la fermeture du stockage. Cela constitue une contrainte permanente lors du creusement des galeries, alvéoles et puits ainsi que lors du scellement du stockage.

L'application des principes et fonctions de sûreté est reprise et largement explicitée au chapitre 5 ci-après.

L'analyse du comportement et de l'évolution du système de stockage, telle qu'elle peut être appréhendée au vu des connaissances scientifiques et technologiques actuelles, permet d'en déterminer les performances et la robustesse au regard des fonctions de sûreté. Cette analyse repose sur l'identification et la description de scénarios représentatifs de l'évolution du système résultant des sollicitations auxquelles celui-ci pourrait être soumis (scénarios d'évolution normale, d'évolution altérée, ou postulés). Elle repose sur la connaissance et l'analyse du comportement dans le temps des composants du système de stockage ainsi que des processus, événements et phénomènes susceptibles de se dérouler pendant toutes les phases de la vie du stockage. Il est également essentiel d'y intégrer les incertitudes relatives aux caractéristiques, processus et événements au vu des connaissances scientifiques et technologiques actuelles.

L'exigence de récupérabilité induit quant à elle des contraintes au niveau de la persistance dans le temps de la géométrie des structures et de la durabilité des matériaux.

La démarche méthodologique suivie par l'Andra applique les recommandations des standards et guides internationaux développés par l'AIEA et l'AEN/OCDE.

Les principes et objectifs fondamentaux de sûreté tels que formulés par l'Andra ainsi que l'approche systémique s'appuyant sur les fonctions de sûreté sont cohérents avec les standards internationaux. On peut citer à titre d'exemple les « prescriptions de sûreté particulières » applicables au stockage définitif des déchets radioactifs de l'AIEA (SSR-5), plus précisément, les principes relatifs à l'approche de sûreté : compréhension de l'évolution de l'installation de stockage, surveillance et contrôle en exploitation, moyens passifs pour la sûreté de l'installation de stockage après fermeture, fonctions de sûreté multiples, confinement et isolement des déchets radioactifs.

2.2 La méthodologie Andra

L'étude de la sûreté d'un stockage de déchets radioactifs s'effectue par l'analyse des performances du système de stockage au moyen de scénarios. La définition et l'analyse de ces scénarios a pour but de vérifier le bon fonctionnement et la robustesse du système de stockage et montrer que l'objectif de protection de l'homme et de l'environnement est atteint avec un haut degré de certitude dans les cas de figures étudiés.

Pour la sûreté durant la phase d'exploitation, l'évolution des composants du stockage et la mise en place des colis sont sous contrôle et ne sont donc pas traités par des scénarios.

Pour la sûreté après fermeture du stockage, l'Andra a défini quatre types de scénarios que l'on retrouve classiquement dans les réglementations nationales et les recommandations internationales. Ces scénarios décrivent une évolution phénoménologique des composants naturels et ouvragés du système de stockage sur le très long terme. Ils doivent permettre d'analyser les différents mécanismes de retour vers la biosphère des éléments radio-chimio-toxiques contenus dans les déchets et d'en évaluer les conséquences sanitaires et environnementales. Ces scénarios sont définis par un choix d'hypothèses, de modèles de fonctionnement et de paramètres issus du socle de connaissances scientifiques et technologiques. Ils doivent couvrir les situations d'évolution du stockage en fonctionnement normal, altéré ou postulé (*what-if ?*) et enfin en cas d'intrusion humaine involontaire.

Typologie de scénario	Intitulé du scénario
Scénario d'évolution normale (SEN)	Situation de référence du SEN
	Situation enveloppe du SEN
Scénario d'évolution altérée (SEA)	Dysfonctionnement des scellements des liaisons surface-fond par l'interface
	Dysfonctionnement des scellements des galeries par l'interface
	Dysfonctionnement de tous les scellements par l'interface
	Dysfonctionnement de tous les conteneurs de stockage des colis de déchets HA0 du quartier pilote HA
	Dysfonctionnement d'un conteneur de stockage des colis de déchets HA1 ou HA2 par alvéole HA du quartier de stockage HA
Scénario What-if	Dysfonctionnement des scellements des liaisons surface-fond par le noyau argileux et par l'interface
	Dysfonctionnement des scellements des galeries par le noyau argileux et par l'interface
	Dysfonctionnement de tous les scellements par le noyau argileux et par l'interface
	Dysfonctionnement de tous les conteneurs de stockage HA
	Discontinuité non détectée postulée dans la couche du Callovo-Oxfordien
Scénario d'intrusion humaine involontaires (SIHI)	Forage avec prélèvement de carottes
	Forage d'exploitation géothermique du Trias abandonné à la profondeur du stockage
	Forage d'exploration au Dogger abandonné à sa cote prévisionnelle
	Forage exploratoire pendant le transitoire hydraulique-gaz

Figure 1 : définition des types de scénarios étudiés (d'après Andra, dossier DAC).

Le scénario d'évolution normale (SEN)

Ce scénario vise à représenter l'évolution après fermeture du système de stockage tel qu'il a été conçu ; il suppose que le système fonctionne comme prévu au niveau de ses composants et dans son ensemble. Toutes les fonctions de sûreté sont assurées. L'évolution du système est l'évolution attendue qui prend en considération des événements et phénomènes certains ou très probables.

Le scénario d'évolution normale se décline en un scénario de référence et un scénario enveloppe :

- le scénario de référence (SEN-Ref) s'appuie sur les modèles de fonctionnement et les valeurs des paramètres de ces modèles considérés comme étant les plus étayés scientifiquement. La représentation obtenue est ainsi considérée comme étant « au mieux de la connaissance ». Des valeurs plus conservatives des paramètres, voire pénalisantes, sont utilisées si les connaissances scientifiques et technologiques sont moins bien étayées ;
- le scénario enveloppe (SEN-Env) est établi en sélectionnant les valeurs hautes ou basses dans l'ensemble des données disponibles, en respectant la cohérence physique entre

les différentes grandeurs, afin de majorer le transfert vers la biosphère des radionucléides et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets stockés. Le scénario enveloppe constitue la limite du fonctionnement normal du stockage.

Les scénarios d'évolution altérée (SEA)

Les scénarios d'évolution altérée ont pour but d'évaluer la dérive dans le temps du stockage hors des limites du fonctionnement normal. Ils permettent d'évaluer la robustesse du stockage, c'est-à-dire la capacité de celui-ci de continuer à remplir sa fonction de protection de l'homme et de l'environnement en cas de perte d'une ou plusieurs fonctions de sûreté due au dysfonctionnement ou à la défaillance des composants qui contribuent à leur réalisation. Les hypothèses et paramètres selon lesquelles sont construits les scénarios d'évolution altérée sont pénalisantes et considérées comme peu vraisemblables par rapport aux connaissances acquises. L'étude de ces scénarios permet également d'identifier les composants essentiels pour garantir les performances du stockage.

Les scénarios postulés (*what-if ?*)

Les scénarios *what-if ?* sont établis sur la base d'événements très peu ou pas vraisemblables, dont la survenance est postulée, et qui entraînent la perte d'une ou plusieurs fonctions de sûreté. Ces scénarios, qui correspondent à des sollicitations extrêmes du stockage, permettent d'en évaluer la robustesse et la qualité de la conception. Le choix de ces scénarios résulte souvent de considérations spécifiques aux caractéristiques du site. L'analyse de tels scénarios est considérée comme une bonne pratique au niveau international.

Les scénarios d'intrusion humaine involontaire (SIHI)

La mémoire du stockage peut se perdre et une intrusion dans celui-ci ne peut être exclue (l'ASN a fixé la date de l'oubli à 500 ans après fermeture). Les recommandations internationales font une distinction entre l'intrusion volontaire et involontaire. Ces recommandations internationales excluent de l'analyse les conséquences d'une intrusion volontaire, préparée, documentée et délibérée car ceux qui y procèderaient porteraient la responsabilité de leurs actions. Seule l'intrusion involontaire est donc étudiée.

Comme il est difficile de prévoir et décrire la nature de futures actions humaines et que, par définition, lors d'une intrusion plusieurs ou toutes les barrières mises en place sont traversées, différents scénarios plus ou moins plausibles sont envisagés.

L'établissement des scénarios repose sur des hypothèses de représentation, des modèles et des paramètres qui s'appuient sur le socle de connaissances scientifiques et technologiques acquises par l'Andra aux travers de ses différents programmes de recherche en particulier *in situ*. Pour procéder aux évaluations quantitatives de sûreté après fermeture, l'Andra a par ailleurs sélectionné, développé, qualifié et validé des outils de simulation capables de répondre aux différentes interrogations prenant en compte notamment les grandes échelles de temps et d'espace, et l'aspect multiphysique et couplé des phénomènes.

2.3 Gestion des incertitudes

2.3.1 Introduction

La conception d'un stockage géologique profond et l'analyse de sa sûreté en exploitation et après fermeture s'appuient sur les connaissances scientifiques disponibles au moment de la rédaction du dossier de demande d'autorisation de création. Les connaissances relatives au milieu géologique dans lequel l'installation sera construite et au comportement des différents constituants du stockage sont particulièrement importantes. Elles ne sont pas, et ne peuvent pas être, totalement exhaustives, et celles qui sont bien connues le sont avec un certain degré de précision. Ainsi la connaissance du comportement à long terme du stockage ne peut-elle être absolue. Loin de tout connaître à un moment donné, la science progresse grâce à la recherche. Par nature, la démarche scientifique est progressive, critiquable, réfutable et évolutive en fonction des avancées de la science. Cela ne s'opppose pas à ce que des décisions soient prises au regard de l'état des connaissances disponibles à ce moment.

2.3.2 Typologie des incertitudes

Le problème de la prise en compte des incertitudes pour traiter de l'évaluation de la sûreté d'un stockage géologique, notamment sur le long terme, a été abordé au cours de nombreux travaux internationaux. Il n'existe cependant pas d'approche unifiée de la question.

De façon générale, les incertitudes concernant les données nécessaires à l'évaluation de la sûreté d'un stockage géologique se déclinent en deux grandes catégories : les incertitudes épistémiques et les incertitudes aléatoires. Leurs causes peuvent être intrinsèques ou extrinsèques.

Les incertitudes épistémiques sont liées à l'imperfection des connaissances. Les incertitudes epistémiques intrinsèques, qui concernent directement les composants du stockage et la modélisation de leur évolution, sont susceptibles d'être réduites par une meilleure compréhension du système étudié, en augmentant par exemple le nombre de mesures d'un paramètre, le nombres d'études, ou en améliorant les modèles. Ces démarches permettent d'atteindre une meilleure précision et de réduire l'incertitude. Les incertitudes epistémiques extrinsèques, à l'inverse, résultent de l'influence de facteurs externes au stockage, comme des évolutions socio-économiques, des évolutions réglementaires ou encore les effets anthropiques sur le climat. Ces dernières ne sont pas réductibles.

Les incertitudes aléatoires sont liées au caractère aléatoire inhérent à un phénomène ou un événement, comme la survenue de séismes ou de cataclysmes naturels. Elles concernent des événements de probabilité très faible mais non nulle.

Toutes les incertitudes non réductibles par une meilleure compréhension du système étudié sont prises en compte au travers de scénarios qui incluent la survenue d'événements incertains.

2.3.3 Incertitudes et évaluations de la sûreté

Selon le consensus international, toute évaluation de sûreté à long terme d'un stockage géologique prend en compte les incertitudes épistémiques et aléatoires. Le traitement des incertitudes s'effectue en appliquant une ou plusieurs des cinq stratégies suivantes :

1. démontrer que l'incertitude est sans rapport avec la sûreté ;
2. sinon aborder explicitement l'incertitude ;
3. en caractériser la gamme et les bornes ;
4. exclure l'événement ou le processus aggravant l'incertitude au vu de sa très faible probabilité d'occurrence ou parce que d'autres conséquences, si l'événement venait à se produire, l'emporteraient largement sur celles de l'événement exclu ;
5. utiliser une approche dite stylisée, c'est-à-dire basée sur des hypothèses imposées, lorsqu'il n'est pas possible d'aborder explicitement l'incertitude (absence ou insuffisance de données). Cette approche est généralement convenue avec l'Autorité de sûreté.

Les analyses de sûreté, quant à elles, peuvent être abordées de deux façons : déterministe ou probabiliste.

L'analyse déterministe consiste à effectuer un calcul ou une simulation avec un seul ensemble de valeurs des paramètres et un scénario défini. Elle fournit pour le scénario étudié (*cf.* section 2.2) une estimation optimale, prudente ou extrême des performances du système. Elle peut être affinée de façon itérative au fur et à mesure de l'amélioration des connaissances.

L'analyse probabiliste consiste à effectuer un calcul ou une simulation avec des valeurs des paramètres pertinents variant à l'intérieur de leur domaine de validité, voire en dehors, pour un scénario donné, puis à envisager plusieurs scénarios.

Les deux approches déterministe et probabiliste sont complémentaires.

Au stade d'une demande d'autorisation de création d'une INB, l'approche déterministe est souvent privilégiée car elle permet une représentation majorée et donc enveloppe de la réalité.

2.3.4 Gestion des incertitudes par l'Andra, notion de conservatisme

L'approche de l'Andra pour évaluer la sûreté de Cigéo en exploitation et après fermeture est déterministe et s'inscrit dans la méthodologie exposée ci-dessus.

L'Andra a identifié de façon systématique différents types d'incertitudes :

- des incertitudes intrinsèques liées à la conception du stockage. On peut citer à titre d'exemple les données d'entrée des modèles, les caractéristiques des composants, la variabilité de la mise en œuvre technique des composants ou l'évolution phénoménologique du stockage ;
- des incertitudes extrinsèques liées aux événements futurs d'origine naturelle (climatique, géodynamique), ou aux activités humaines (intrusions, effets anthropiques) ;
- des incertitudes de modélisation, liées aux données d'entrée, au choix de représentation phénoménologique, à la résolution des équations et au scénario considéré.

Certaines de ces incertitudes sont couvertes par des dispositions de conception. Les autres sont prises en compte via les scénarios considérés en cohérence avec les standards méthodologiques internationaux décrits ci-dessus et le guide de l'ASN. Des études de sensibilité mono-paramétriques ont été réalisées dans le but d'apprécier la sensibilité du fonctionnement du stockage vis-à-vis de la variabilité de certains paramètres.

La prise en compte des différents types d'incertitude dans les études de l'Andra repose sur la notion de « conservatisme » : pour tout élément de l'évaluation affecté par une incertitude, une hypothèse pénalisante est retenue pour que le résultat soit toujours majorant par rapport au domaine de fonctionnement réel.

Cette logique s'applique à toutes les étapes de l'évaluation. On peut mentionner par exemple :

- les caractéristiques retenues pour les colis de stockage sont plus pénalisantes que les spécifications d'acceptation ;
- les paramètres d'entrée utilisés pour les modélisations sont fixés aux valeurs les plus pénalisantes à l'intérieur de leur domaine de variation. Les paramètres d'entrée qui contribuent à la sûreté mais qui ne peuvent être quantifiés avec certitude sont fixés aux limites les plus pénalisantes qui puissent exister ;
- la modélisation du comportement du stockage est faite avec des modèles qualifiés et validés pénalisants ;
- les agressions subies par le stockage sont majorées par rapport à la valeur réglementaire ;
- les critères utilisés pour apprécier le résultat sont fixés à des valeurs plus sévères que le niveau réglementairement requis.

La robustesse de la conception de Cigéo et de l'évaluation de sûreté repose sur l'application de ces conservatismes. Pour les cas où l'utilisation systématique des hypothèses les plus simples et les plus pénalisantes ne permettaient pas d'aboutir à des conditions de sûreté satisfaisantes au regard des objectifs poursuivis, l'Andra a revu le « conservatisme » moyennant des calculs plus précis ou a pris des options de conception supplémentaires.

Les deux exemples suivants, en lien avec le dimensionnement des quartiers HA et MAVL, illustrent les propos précédents. Pour le dimensionnement thermo-mécanique des quartiers HA, le modèle de comportement choisi (thermo-poro-élastique) est plus simple mais plus pénalisant qu'un modèle plus sophistiqué thermo-poro-visco-plastique (*cf.* 5.3.1). Les paramètres physiques utilisés dans la modélisation (module d'Young, perméabilité…) sont fixés à des valeurs pénalisantes au sein du domaine de variation identifié. Egalement, pour le dimensionnement thermique des quartiers HA, le critère d'acceptation du résultat, c'est-à-dire la température maximale atteinte au sein du Callovo-Oxfordien, est fixé par l'Andra à 90°C. Pour le dimensionnement thermique des alvéoles MAVL, une première analyse a été réalisée avec des conservatismes extrêmement élevés. Dans cette analyse, l'Andra considère l'hypothèse (doublement pénalisante) que tous les colis sont mis en stockage simultanément et ont tous la puissance thermique maximale autorisée à la réception. Selon cette approche simplifiée, la majorité des colis peut être stockée dans le respect des critères de dimensionnement thermique, à l'exception de deux types d'entre eux. Pour démontrer que ces deux types de colis peuvent être stockés, il faut retirer l'hypothèse simplificatrice de mise en stockage simultanée de tous les colis. Cette approche est pertinente, mais elle impose de compenser l'hypothèse de mise en stockage simultanée de tous ces colis par une exigence opérationnelle de maîtrise de la mise en stockage pour assurer le respect des critères de dimensionnement

thermique. L'abandon d'un conservatisme est donc ici compensé par une contrainte d'exploitation qui nécessitera une organisation précise et contrôlée pendant toute la durée de l'exploitation.

En conclusion, l'évaluation de sûreté de l'Andra présentée dans le dossier de DAC en appliquant systématiquement des conservatismes pour toutes les incertitudes identifiées assure l'existence d'une marge entre le fonctionnement modélisé et le fonctionnement réel, même si ce dernier ne peut pas être complètement évalué. Dans cette approche déterministe, la superposition et l'addition des conservatismes tout au long de l'évaluation de sûreté conduit à une représentation majorée de l'impact du stockage sur l'homme et l'environnement. L'Andra s'est ainsi assurée que le fonctionnement modélisé est bien enveloppe du fonctionnement réel.

Les conservatismes seront réexaminés au cours de la conception, de la construction et de l'exploitation de Cigéo. Une diminution des conservatismes visant à une représentation plus proche de la réalité pourra être obtenue lors des itérations successives de l'évaluation de sûreté, en prenant en compte une réévaluation de choix initiaux, l'amélioration des connaissances et l'évolution des outils de calcul.

Une approche probabiliste de l'étude des performances de Cigéo serait un complément utile car elle permettrait de mieux appréhender le fonctionnement « au mieux de la connaissance » du stockage parmi tous les cas envisageables.

2.3.5 Avis et recommandations de la Commission

Sans émettre de jugement sur l'évaluation de sûreté elle-même, ce qui n'est pas de sa compétence, la Commission estime que la conception du stockage et l'évaluation de sa sûreté, telles qu'elles sont exposées dans le dossier de DAC, sont fondées sur une méthode robuste de gestion des incertitudes, qui combine la compensation des incertitudes connues par des conservatismes et l'approche des incertitudes non identifiées par l'étude de la résilience du stockage à des scénarios hypothétiques pénalisants. Cette méthodologie est déterministe en conformité avec le guide de l'ASN et les standards internationaux.

La Commission estime que dans la version actuelle de l'étude, l'application des conservatismes et leur propagation tout au long de l'évaluation de sûreté permet de couvrir les incertitudes identifiées et d'obtenir une représentation majorante enveloppe du fonctionnement réel du stockage.

La Commission recommande que les évaluations de sûreté déterministes soient, notamment en vue des optimisations futures du système, enrichies par des évaluations probabilistes pour tout ou partie du stockage, en particulier en définissant les fonctions de densité de probabilité des paramètres dans leur domaine de variation.

La Commission recommande que les conservatismes soient réévalués lors de l'instruction des évaluations futures du stockage à la lumière de la progression des connaissances.

La Commission observe que dans un cas au moins (dimensionnement thermique des alvéoles MAVL), les résultats des études ont conduit à remplacer une des hypothèses conservatives par une disposition supplémentaire de sûreté de nature organisationnelle. La Commission observe qu'il est dès lors essentiel de s'assurer de la pérennité de l'application effective de cette disposition pendant toute l'exploitation du stockage. La Commission recommande que cette disposition soit très précisément documentée et soit assortie d'un dispositif de contrôle robuste dans la durée.

La Commission observe que les incertitudes sont abordées dans le dossier indépendamment paramètre par paramètre. À l'appui de la future mise en service, la Commission recommande de poursuivre les études en utilisant aussi des méthodes de traitement multiparamétriques (du type Monte Carlo).

3 Périmètre et méthode de l'évaluation conduite par la Commission

3.1 Contenu scientifique du dossier de DAC

Le rôle de la Commission est d'éclairer le Parlement sur les aspects scientifiques et techniques de la gestion des matières et déchets nucléaires. Elle s'est concentrée dans le présent rapport sur l'évaluation de la robustesse des bases scientifiques sur lesquelles s'appuie l'évaluation de la sûreté de l'installation Cigéo.

Le dossier de demande d'autorisation de création de l'installation de stockage en couche géologique profonde dénommée Cigéo comporte 23 pièces, représentant environ 10 000 pages et aborde 5 grandes thématiques : présentation générale, impact sur l'environnement, aspects juridiques, concertation et sûreté.

L'Andra fonde l'analyse de sûreté de Cigéo sur un socle de connaissances scientifiques (*cf.* chapitre 4). Ce socle met en jeu quasiment toutes les disciplines incluses dans les sciences de la matière, les sciences des matériaux et les sciences de la Terre. Toutes ces disciplines sont matures et ont même progressé grâce aux travaux de l'Andra et d'une large communauté scientifique nationale et internationale travaillant sur le stockage géologique.

L'Andra dispose d'une quantité considérable de données sur la géologie et l'hydrogéologie du site, sur le devenir des composants de Cigéo (colis de déchets, matériaux des ouvrages, matériaux de scellements), sur l'évolution des propriétés du COx soumis à diverses sollicitations et sur les mécanismes de libération et de migration des radionucléides dans les composants dégradés après resaturation par l'eau des quartiers de stockage. Les expériences dans ces domaines ont été conduites pendant plusieurs décennies par une large communauté scientifique, à différentes échelles (expérimentations en laboratoire de surface et *in situ* en laboratoire souterrain). L'Andra maîtrise l'utilisation des codes de calculs et techniques de simulation qui permettent, à partir des modèles établis sur la base de données expérimentales, de reproduire les phénomènes et de les projeter dans le futur.

Les résultats obtenus sur Cigéo ont été confrontés à des données acquises sur d'autres sites notamment en Europe, et ont bénéficié aussi d'exercices réguliers, par des équipes internationales indépendantes, d'inter-comparaisons de codes de calculs. Une part importante de ces résultats a fait l'objet de publications dans des revues scientifiques internationales après le processus de revue par les pairs.

Le socle de connaissances scientifiques est utilisé par l'Andra pour la conception de l'installation et l'évaluation de sa sûreté, qui comporte elle-même deux volets : la sûreté en exploitation (sur une durée séculaire) et la sûreté après fermeture (sur un million d'années).

Le premier volet concerne le choix des matériaux et composants intervenant dans la construction des installations, en particulier souterraines, l'acheminement et la mise en place des colis de déchets, le comblement des vides résiduels et le scellement des ouvrages et des liaisons surface-fond. Il repose sur la capacité de la science à fournir aux ingénieurs les éléments permettant de garantir que les objectifs de construction et d'exploitation définis seront atteints. La démarche pourra être vérifiée et adaptée tout au long de l'exploitation avant la fermeture de Cigéo. Ce volet relève de l'état de l'art du génie minier, du génie civil, et de la réalisation des grands chantiers. Une durée d'ordre séculaire doit être considérée.

Le second volet concerne l'évolution des composants du stockage à très long terme, jusqu'au million d'années, sans intervention humaine après la fermeture. Il repose sur la capacité de la science à comprendre et modéliser les processus. Pour un système passif et aux échelles de temps visées, la démarche de vérification que les objectifs peuvent être atteints est basée sur la qualité des données, la robustesse des modèles et des codes de simulation.

3.2 Périmètre de l'évaluation de la Commission

Dans son analyse, la Commission s'est attachée à évaluer la pertinence et la qualité du socle de connaissances scientifiques sur lequel s'est basée l'Andra pour réaliser son évaluation de sûreté à long terme.

L'évaluation de la sûreté de l'installation Cigéo n'est pas du ressort de la Commission, mais de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection à laquelle la Commission ne saurait se substituer. Ainsi, la Commission s'est uniquement penchée sur le calcul des flux de radionucléides qui sortiront du COx à long terme mais la discussion de savoir si ces flux sont acceptables vis-à-vis de la protection de l'homme et de l'environnement relève de l'Autorité de sûreté et de radioprotection et sort du champ de l'évaluation de la Commission.

Pour ce qui concerne la phase d'exploitation, la Commission a choisi de ne pas traiter les installations de surface qui relèvent de mises en œuvre classiques dans l'industrie nucléaire. La partie souterraine de Cigéo s'apparente également à une installation nucléaire relativement classique, malgré quelques particularités, comme l'environnement souterrain et la durée d'exploitation séculaire. La Commission a donc seulement examiné les aspects de la période d'exploitation en lien avec la récupérabilité.

L'Andra est responsable de la conception de son ouvrage. Il n'appartient pas à la Commission de remettre en cause les choix de conception, mais d'évaluer les connaissances sur lesquelles s'appuie l'Andra pour ses calculs de performance du système de stockage.

3.3 Méthode d'évaluation de la Commission

Il est nécessaire de s'assurer que le niveau de connaissance atteint est suffisant pour permettre de concevoir l'installation Cigéo et d'évaluer ses performances au regard de sa capacité à isoler les déchets des phénomènes de surface et à limiter le transfert des radionucléides et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets jusqu'à la biosphère. Il convient de plus d'identifier les incertitudes résiduelles pour vérifier qu'elles sont compensées par des marges ou des hypothèses conservatives à un niveau suffisant.

La Commission s'est attachée à évaluer les fondements scientifiques sur lesquels l'Andra a construit son analyse de sûreté, en basant son évaluation sur l'examen de l'ensemble des documents du dossier de DAC. La Commission s'est également emparée, lorsque cela lui a semblé nécessaire, de la littérature scientifique internationale qui lui est associée (rapports, travaux d'intercomparaison), de publications scientifiques (articles dans des revues à comité de lecture) et de travaux de thèse commandités ou non par l'Andra. Des réunions de travail thématiques organisés avec l'Andra à la demande de la Commission ont permis d'approfondir un certain nombre de sujets. La Commission a mobilisé également une connaissance construite sur la durée par l'examen des documents émis au fil des années par l'Andra. La Commission a

en effet été instituée il y a plus de 30 ans pour suivre et évaluer les travaux scientifiques et technologiques concernant la gestion des déchets radioactifs et en particulier leur stockage. Cela lui a permis de suivre de façon continue les études et recherches pendant toute la durée du développement du projet de stockage profond de déchets radioactifs. Cette connaissance capitalisée renforce sa capacité d'évaluation du dossier de DAC présenté par l'Andra.

La Commission s'est particulièrement attachée à évaluer la qualité, la pertinence et la suffisance du socle scientifique au regard des besoins de la conception du stockage et de l'évaluation de sa sûreté après fermeture. Pour cela, elle a examiné les méthodes, les données et les processus concernant les points susceptibles d'affecter significativement les fonctions de sûreté à long terme du stockage, en particulier :

- la géologie et l'hydrogéologie de la zone où sera implanté le stockage ;
- les propriétés de la roche hôte (COx) et de ses encaissants ;
- les matériaux utilisés pour la réalisation des colis et des ouvrages ;
- la chimie des radionucléides, des matériaux employés et de leurs interfaces ;
- l'influence des variations climatiques sur l'environnement de Cigéo à différentes échelles de temps.

Après évaluation du socle scientifique, la Commission a examiné la manière dont il a été utilisé par l'Andra pour concevoir le projet Cigéo. La Commission a, pour ce faire, sélectionné les composants du stockage importants pour la récupérabilité des colis de stockage en exploitation et la sûreté à long terme de l'installation : colis de stockage, alvéoles, galeries, ouvrages de scellement. Elle a aussi examiné la pertinence de leur architecture. Pour chacun de ces composants et pour leurs dispositions relatives, la Commission a examiné et a vérifié si les connaissances scientifiques (compréhension des processus physico-chimiques, modélisation et paramètres associés, démarche de calcul et de simulation) étaient correctement établies et suffisantes, en particulier pour leur impact potentiel sur la qualité de la roche hôte.

Enfin la Commission a examiné comment la connaissance du comportement de ces composants traduite dans les modèles a permis de réaliser l'ensemble des calculs et simulations nécessaires à l'évaluation de sûreté.

30

4 Piliers scientifiques du dossier de DAC

4.1 Introduction

Ce chapitre s'emploie à décrire les différents piliers scientifiques nécessaires à l'évaluation des performances de Cigéo. Ce socle scientifique est essentiel pour apporter une base physique à la conceptualisation des scénarios de sûreté. Des processus thermiques, hydrauliques, mécaniques et chimiques sont attendus dans le stockage sur des périodes temporelles transitoires, dont la date d'arrivée et la durée seront variables suivant le phénomène considéré. Leur maîtrise est nécessaire pour évaluer les performances du COx et en préserver les propriétés.

Les phénomènes thermiques résultent du dégagement de chaleur des déchets HA et de certains déchets MAVL. Un flux de chaleur se transmet au COx dès la mise en place des déchets dans les alvéoles. La persistance du phénomène est de quelques milliers d'années.

Les phénomènes hydrauliques sont associés aux transferts d'eau et de gaz. Ils interviennent à deux grands niveaux. Au sein des ouvrages et dans le champ proche, il est important de comprendre les phénomènes de désaturation et de resaturation en eau du stockage (en particulier dans l'environnement des alvéoles, des galeries, des liaisons surface-fond et des noyaux de scellement). Pendant plusieurs centaines de milliers d'années, deux mécanismes antagonistes interviennent : d'une part l'arrivée d'eau en provenance du COx, d'autre part la production d'hydrogène consécutive à la corrosion anoxique des aciers et à la radiolyse. L'étude de ces phénomènes est nécessaire pour évaluer les pressions de gaz autour des quartiers HA et MAVL, dont le maximum est attendu sur une période de 10 000 à 100 000 ans. Dans le champ lointain, l'hydraulique permet de caractériser les écoulements et les transferts d'eau dans le COx et les aquifères encaissants, qui est nécessaire pour la compréhension du transfert des radionucléides depuis les colis de déchets jusqu'à la biosphère au cours du prochain million d'années.

Les phénomènes physico-chimiques et la chimie jouent un rôle majeur dans la phénoménologie évolutive du stockage. Plusieurs systèmes chimiques sont présents à différentes époques de la vie du stockage. Les lois fondamentales de la chimie permettent de comprendre le comportement et les modes de transfert des radionucléides et toxiques chimiques depuis les colis jusqu'aux alvéoles et au COx, depuis la dégradation des aciers et bétons des colis de déchets (cause de perturbation saline et alcaline), qui interviendra après la fermeture, jusqu'à l'évaluation des transferts vers la biosphère. Ces phénomènes sont influencés par les transitoires thermique et hydraulique.

La mécanique des roches et des structures joue un rôle dans la conception et l'évolution du stockage. A court terme, pendant la phase d'exploitation d'une durée séculaire, la stabilité mécanique des ouvrages doit être assurée. A long terme, après fermeture du stockage, l'enjeu est de minimiser l'endommagement du COx consécutif à la ruine des colis et ouvrages. Les propriétés mécaniques du COx et des matériaux constitutifs de l'ouvrage sont essentielles pour caractériser leur comportement.

La constitution du socle scientifique destiné à comprendre et modéliser les phénomènes relevant de ces différents processus, qui sont souvent couplés, nécessite d'une part la

connaissance des lois qui gouvernent ces processus, d'autre part l'acquisition de leurs paramètres dans le contexte spécifique de Cigéo.

4.2 Géologie

Le secteur de Meuse Haute-Marne fait partie du Bassin de Paris, qui est un grand ensemble sédimentaire d'âge Mésozoïque (ère secondaire) à Cénozoïque (ère tertiaire) et qui repose sur le socle hercynien (ère primaire). Il est bordé à l'est par le massif des Vosges, au nord-est par le massif des Ardennes, au sud par le Morvan et le Massif central et à l'ouest par le Massif armoricain. Sa morphologie se présente sous la forme d'une cuvette, avec une puissance (épaisseur) plus importante des dépôts en son centre, qui atteint 3200 m à l'aplomb de la Brie. Les formations les plus récentes se trouvent à l'affleurement au centre du bassin, alors que les plus anciennes affleurent en auréoles sur les bordures.

La formation du Callovo-Oxfordien (COx) fait partie de cette pile sédimentaire du Bassin de Paris (*cf.* Annexe I). Il s'agit d'une formation d'argilites et de marnes, âgée d'environ 160 millions d'années, qui est constituée d'un ensemble de dépôts sédimentaires détritiques fins de type marin d'âge Jurassique. Elle affleure sur les bordures ouest, sud et est du Bassin de Paris.

4.2.1 Compréhension du contexte géologique

Le concept de l'Andra pour Cigéo fait reposer les deux fonctions fondamentales de sûreté (isoler les déchets et limiter le transfert) principalement sur les propriétés de la barrière géologique. La formation hôte (COx) a ainsi été étudiée en détail à différentes échelles par l'Andra dès l'origine des recherches sur le site de Meuse Haute-Marne. Pour ce faire, l'Andra a déployé depuis une trentaine d'années l'ensemble des méthodes disponibles pour l'investigation géologique :

- analyse bibliographique du contexte du Bassin parisien permettant de circonscrire la présence d'une roche-hôte argileuse potentielle à profondeur optimale (environ 500 m) sur le secteur de Meuse Haute-Marne ;
- inventaire et analyses des données des forages existants ;
- retraitement des profils sismiques 2D, hérités de la prospection pétrolière ;
- réalisation de forages spécifiques accédant à la couche argileuse et à ses encaissants, y compris des forages obliques destinés à recouper d'éventuelles structures verticales ;
- corrélations entre forages par la méthode de la stratigraphie séquentielle ;
- études structurales régionales et détaillées par sismique 2D (profils) et 3D (bloc) haute résolution ;
- examen détaillé de la couche argileuse et de son encaissant supérieur au laboratoire souterrain.

L'Andra a progressivement fait converger l'état des connaissances grâce à l'ensemble des études conduites selon ces méthodes. Elles ont permis d'acquérir les données confirmant que la couche du Callovo-Oxfordien possède des propriétés adaptées au stockage qui correspondent aux exigences du guide de sûreté de l'ASN relatif au stockage des déchets radioactifs en formation géologique profonde. Ce résultat a été obtenu après une démarche scientifique sur plusieurs décennies qui a permis progressivement :

- de déterminer l'étendue d'une zone homogène de 250 km^2, dite zone de transposition (ZT), cernée par des traits structuraux constitués à l'ouest par le système de failles de la Marne, à l'est par le fossé tectonique de Gondrecourt et au sud-ouest par une zone de fracturation diffuse,
- de vérifier de vérifier que la ZT est exempte de failles majeures (rejet supérieur à 10 m et extension déca kilométrique) et secondaires (rejet supérieur à 5 m et extension pluri-kilométrique), notamment de failles pouvant traverser le COx ;
- d'avancer qu'aucune ressource naturelle d'intérêt exceptionnel ne se trouve au droit de la ZT ;
- d'évaluer le risque sismique en notant que le site est placé dans une zone très peu active, ce qui est attesté par les données historiques, par la situation du Bassin parisien éloigné des sources d'orogenèse et par la régularité sédimentaire et structurale du COx dans la ZT. L'Andra calcule néanmoins les effets de séismes dimensionnants sur le stockage et les ouvrages de surface provenant du rejeu hypothétique des failles bordières de la ZT. Cet aléa sismique est également pris en compte pour les dispositions constructives ;
- de choisir une zone d'intérêt pour une reconnaissance approfondie (ZIRA) de 30 km^2 qui est contenue dans la ZT où il est montré, par la sismique haute résolution, l'absence de failles de rejet supérieur à 2-4 m sur un domaine dont le volume permet d'implanter les ouvrages souterrains du centre de stockage Cigéo définissant ainsi la zone d'intérêt pour les ouvrages souterrains (ZIOS) d'environ 15 km^2 ;
- d'établir que le COx présente une épaisseur variant entre 140 m et 160 m dans la ZIOS et est constitué du bas vers le haut par une unité argileuse (UA), une unité de transition (UT) et une unité silto-carbonaté (USC). L'incertitude associée à la position du mur (c'est-à-dire à la base) et du toit (c'est-à-dire au sommet) de la formation, et en conséquence à son épaisseur, résulte essentiellement du modèle de vitesse de propagation des ondes sismiques, qui permet de transformer les cartes « temps double en position » en profondeur des réflecteurs sismiques. Il en résulte une incertitude d'une quinzaine à une vingtaine de mètres (pour un intervalle de confiance à 90%) sur le positionnement des réflecteurs identifiés au mur et à proximité du toit du COx. Ces deux incertitudes combinées mais interdépendantes, conduisent à estimer l'incertitude sur l'épaisseur du COx à une dizaine de mètres ;
- de proposer un modèle d'évolution géodynamique et climatique permettant de construire des scénarios de comportement à long terme du stockage.

4.2.2 Objets structuraux dans le bloc 3D de la ZIRA

L'Andra a mené les études permettant de caractériser la structure géologique de la ZIRA sur 2 000 m d'épaisseur (depuis la surface jusqu'à la base du Trias). Pour cela, elle s'est appuyée sur un ensemble d'éléments : histoire géologique régionale, données de forages, profils sismiques 2D existants ou acquis spécifiquement sur la ZT, et campagnes de sismique 3D. Le maillage du bloc sismique 3D est de 10 m, ce qui est exceptionnellement dense. Ces données ont été traitées pour le dossier de DAC. Pour le bloc sismique 3D, ce traitement intègre le filtrage des données, l'identification et le recalage des réflecteurs aux données de forage (y compris un forage qui atteint la base du Trias), la comparaison avec les lignes sismiques 2D, et une correction des effets de surface.

Plusieurs anomalies sont mises en évidence par ces méthodes dans la pile sédimentaire, bien en-dessous du COx (*cf.* Annexe I.2). Des structures orientées dans la formation du Dogger, formant des linéaments d'orientation N120°E, sont identifiées au mur du Dogger qui contient l'aquifère présent sous la formation du COx. Ces structures ont été interprétées comme des corps récifaux, en cohérence avec les données de forages et les structures sédimentaires observées à l'affleurement à une trentaine de kilomètres plus à l'est. Ces corps récifaux se développent sur une trentaine de mètres d'épaisseur, au sein du Bajocien (vers 950 m de profondeur). Leur présence n'a pas d'impact sur les propriétés du COx.

Le réflecteur situé vers le sommet du Trias supérieur (1 400 m de profondeur) montre une structure dépressionnaire orientée nord-sud d'environ 20 m d'amplitude, d'un kilomètre d'extension suivant l'orientation est-ouest et suivie sur trois kilomètres jusqu'à l'extrémité nord de la ZIRA, alors que les réflecteurs sus-jacent (140 m au-dessus) et sous-jacent (320 m en dessous) sont bien continus. Cette structure est interprétée comme résultant de la dissolution précoce de faisceaux salifères avant le dépôt des couches sus-jacentes. Ce phénomène n'est plus observé à la base du Lias (profondeur 1 250 m), et n'a donc aucun effet sur le COx.

Une interprétation alternative serait l'existence de failles syn-sédimentaires orientées nord-sud, de rejet 20 m. Cette hypothèse est cependant peu compatible avec l'orientation ou les dimensions (relations entre longueur, extension et rejet) des failles du secteur, ou avec le contexte géodynamique (extension est-ouest) au Trias supérieur au moment de sa présupposée formation. Notons que dans l'hypothèse d'une faille, cette dernière serait très ancienne (plus de 200 millions d'années), d'extension verticale limitée (rejet de 20 m), et n'aurait jamais rejoué depuis.

Dans tous les cas, l'analyse des données de la géophysique montre une pile sédimentaire continue à partir de la base du Lias (Jurassique inférieur, profondeur 1 250 m), indiquant que le COx et ses formations encaissantes sont exemptes d'accident tectonique majeur de type faille à l'endroit de la ZIRA.

4.2.3 Appréciation de la Commission

L'Andra s'est donné tous les moyens pour vérifier que les données acquises sur le COx à grande et à petite échelle sont bien représentatives de celles de la ZIRA, en évitant d'y accéder directement, afin de ne pas altérer les propriétés de confinement de la roche hôte. Cette garantie est fournie d'une part par de nombreuses mesures et l'analyse de leur variabilité spatiale autour de la ZIRA, d'autre part par la compréhension de l'histoire géologique de la formation du COx.

Le site apparaît très bien caractérisé par l'Andra sur le plan géologique, tant sur le plan sédimentaire que structural. La bonne connaissance de l'histoire géologique et des mécanismes (sédimentation, déformation) qui ont conduit à la géologie actuelle apporte des éléments permettant de recouper et rassembler dans un ensemble cohérent les informations obtenues à différentes échelles par des méthodes et mesures directes (par exemple observations de lames minces) ou indirectes (par exemple inversion de données géophysiques à l'échelle du secteur) de modélisation. La redondance et la cohérence des données entre les différentes échelles permettent de réduire l'incertitude sur les propriétés à grande échelle requises pour l'analyse des performances du COx.

Concernant les incertitudes résiduelles, la profondeur et l'épaisseur du COx avec ses incertitudes de ± 19 m et ± 13 m, respectivement (intervalle de confiance à 90 %), ont été déterminées et encadrées par la reconstitution de l'histoire géologique du Bassin de Paris à partir des études stratigraphiques, pétrographiques, géochimiques, tectoniques et géophysiques.

Compte-tenu de l'épaisseur du COx comprise entre 140 m et 160 m, l'incertitude sur sa géométrie apparaît suffisamment bien établie pour assurer la présence d'une garde argileuse saine d'au moins 50 m d'épaisseur de part et d'autre du stockage. L'Andra prend en compte la géométrie du COx, y compris ses incertitudes, pour la conception de Cigéo. Les incertitudes résiduelles seront encore réduites pendant la phase de construction initiale, avec l'accès direct à la couche par les puits et descenderies.

Des objets structuraux, situés dans la pile sédimentaire sous la formation du COx ont été reconnus et expliqués grâce à l'utilisation des meilleures techniques disponibles de traitement du signal géophysique (notamment correction des effets de la topographie de surface et de l'hétérogénéité des vitesses des ondes dans les zones altérées de surface). La Commission note que les structures identifiées à la base du Lias (1 400 m de profondeur) sont attribuées à des phénomènes de dissolution précoce de faisceaux salifères, qui ne se propagent pas au-delà de la base du Lias. L'interprétation alternative pour expliquer ces structures, qui ferait intervenir une faille dans le Trias (à plus de 1 400 m de profondeur, d'extension verticale limitée, et sans rejeu depuis le dépôt du Lias il y a 200 millions d'années), est très peu vraisemblable. Dans les deux cas, ces structures n'ont aucun effet sur le COx.

4.3 Contexte hydrogéologique régional et de secteur

4.3.1 Démarche de l'Andra

Le référentiel géologique constitué par l'Andra permet de circonscrire le contexte hydrogéologique régional. En effet, dans un bassin tel que le Bassin parisien, la pile sédimentaire est suffisamment régulière dans ses grandes lignes pour que l'on puisse suivre sur l'ensemble de la structure des horizons lithologiques de nature relativement homogène. Les horizons calcaires ou gréseux qui permettent le stockage et la circulation de l'eau souterraine sont dits *aquifères*, tandis que les horizons argileux n'autorisent pas les écoulements et sont dits *semi-perméables* (selon le terme scientifique consacré). Les semi-perméables présentent donc un *a priori* favorable pour limiter la circulation de l'eau. C'est ce qui a motivé l'Andra à rechercher au sein de la pile sédimentaire, formant un système multicouche, une cible dans le Callovo-Oxfordien argileux en Meuse Haute-Marne, dont la profondeur et l'épaisseur étaient susceptibles de convenir.

À l'échelle du secteur de Meuse Haute-Marne, le schéma hydrogéologique multicouche se complique du fait de la présence de failles pouvant affecter, sur la verticale comme sur l'horizontale, la continuité hydraulique des formations. Des études structurales complétant les études sédimentaires ont donc été nécessaires.

Les études hydrogéologiques de l'Andra ont été menées à deux échelles :

- à l'échelle régionale du Bassin parisien pour cerner la circulation générale des eaux souterraines depuis les zones d'alimentation par les précipitations jusqu'aux exutoires

naturels et prévoir ainsi à grande échelle les trajets et les temps de transfert potentiels d'éléments en solution issus du stockage qui seraient émis aux limites du COx ;
- à l'échelle du secteur, autour de la ZT, pour détailler la structure des aquifères encaissant le COx, déterminer les exutoires locaux et identifier les paramètres permettant d'alimenter les modèles.

Les données relatives à l'hydrogéologie sont multiples et concernent :

- la géométrie (extension, profondeur, épaisseur) des formations aquifères et semi-perméables ;
- les paramètres hydrodynamiques des formations, essentiellement leur perméabilité et leur porosité ;
- le rôle hydraulique des failles sur l'écoulement ;
- la répartition des zones d'alimentation et les flux afférents ;
- la localisation des exutoires.

4.3.2 Formations hydrogéologiques

Les formations aquifères présentes sur la zone de transposition sont, de la surface vers la profondeur, celles des calcaires du Barrois, des calcaires de l'Oxfordien, des calcaires du Dogger et des grès du Trias inférieur (aquifère GTI dit nappe des grès des Vosges) et supérieur, séparées par des formations ou niveaux semi-perméables.

Le COx est la formation semi-perméable qui sépare les aquifères de l'Oxfordien de l'aquifère du Dogger. Ces aquifères forment ainsi les encaissants sus- et sous-jacents immédiats du COx et ont pour cela été particulièrement étudiés par l'Andra. Ils affleurent sur la bordure est du bassin où ils se rechargent sous l'effet des précipitations et constituent de bons réservoirs pour la ressource en eau locale. L'Oxfordien est présent à l'affleurement à une vingtaine de kilomètres au sud-est de la ZT et le Dogger à une quarantaine. L'intérêt économique de ces aquifères diminue vers l'ouest en raison de l'augmentation de leur profondeur et, pour le Dogger, de la salinité. A titre d'exemple, la salinité atteint 4 $g{\cdot}L^{-1}$ en ions chlorures à quelques kilomètres au nord-est de la ZIRA. L'écoulement souterrain s'effectue globalement en direction du nord-ouest vers le centre du Bassin parisien ; il est localement intercepté (pour l'aquifère du Barrois, qui est le plus superficiel) par la vallée de la Marne qui constitue un exutoire de secteur.

Les grès du Trias inférieur, que l'on trouve au droit de la ZT à une profondeur supérieure à 1900 m (forage EST433) n'ont pas d'intérêt du point de vue de la ressource en eau étant donné leur forte salinité (160 $g{\cdot}L^{-1}$ équivalent NaCl). Ils ont été étudiés pour leur potentiel géothermique dont il a été établi qu'il ne présente pas un caractère exceptionnel.

L'aquifère le plus superficiel au droit de Cigéo est l'aquifère des calcaires du Barrois. Il est alimenté par l'infiltration des eaux météoriques et les pertes des cours d'eau. Les écoulements se dirigent vers le nord-nord-ouest et sont drainés localement par les vallées de la Saulx, de l'Orge et de l'Ormançon (affluents de l'Ornain), et plus régionalement par la Marne. Les écoulements sont, dans le détail, fortement influencés par la topographie des plateaux et vallées, ainsi que par un réseau de drainage karstique superficiel bien développé dans les calcaires du Barrois. Les niveaux piézométriques sont sensibles aux précipitations et, en période de hautes eaux, des zones de débordement peuvent apparaître. Cela est pris en compte dans l'évaluation du risque inondation des constructions de l'installation nucléaire de base (INB).

Les aquifères sus-jacents du COx (aquifères du Barrois et de l'Oxfordien) seront traversés par les ouvrages de liaison surface-fond (puits et descenderies). La phase de creusement des liaisons surface-fond nécessitera le rabattement temporaire du niveau de l'eau dans l'aquifère du Barrois, ce qui n'aura pas d'impact hydraulique au dela cette phase, car il sera étanché conformément à l'état de l'art des techniques minières. Son étanchéité pourra être vérifiée et entretenue pendant toute la durée d'exploitation. Un choix différent a été fait pour les eaux des aquifères de l'Oxfordien qui seront drainées jusqu'à la fermeture du stockage. Ce choix est similaire à celui fait pour le laboratoire souterrain, puisque les deux puits d'accès ont été conçus pour drainer les eaux des aquifères. Le rabattement occasionné par ce drainage sur la piézométrie de cet aquifère a été suivi, ce qui a permis de caractériser son comportement hydrodynamique à l'échelle du secteur pendant plusieurs années.

L'Andra poursuit ses travaux pour préciser les incidences qui seront présentées dans l'étude d'impact figurant dans le dossier révisé.

Le caractère semi-perméable du COx est confirmé par sa régularité géométrique, lithologique et sa très faible perméabilité (*cf.* 4.4.5). Le très fort contraste de perméabilité entre le COx et les aquifères encaissants (3 à 9 ordres de grandeur en fonction des horizons aquifères considérés) est responsable de l'indépendance des écoulements entre les aquifères du Dogger et de l'Oxfordien qui se manifeste par une différence de niveau piézométrique de quelques mètres entre ces deux aquifères sur l'étendue de la ZIRA. Ce gradient hydraulique est susceptible d'engendrer un très faible flux de drainance vertical entre le Dogger et l'Oxfordien. Ce flux est théoriquement capable de transporter des éléments en solution, mais il a été montré que cette voie de transfert est minoritaire vis-à-vis de la diffusion (*cf.* section 4.4).

Le profil de charge hydraulique au sein du COx indique une surpression d'environ 45 m (< 0,5 MPa). Ce phénomène est couramment rencontré dans les formations géologiques sédimentaires peu perméables. La surpression peut résulter de phénomènes de différentes natures : physiques (modifications récentes à l'échelle géologique des conditions hydrauliques aux limites aquifères, réduction de la porosité…), physico-chimiques (phénomènes de pression de disjonction) ainsi que de phénomènes de transferts couplés thermo-osmose et osmose chimique (*cf.* Annexe III.3). La question des surpressions hydrauliques dans les formations très peu perméables reste une question scientifique d'intérêt.

Il existe une surpression hydraulique avérée dans le COx. Plusieurs phénomènes liés à sa très faible perméabilité peuvent contribuer à son explication sans que l'Andra ait pu jusqu'à présent identifier leur part relative.

L'impact de cette surpression, quelle qu'en soit la cause, est pris en compte de manière conservative dans les études de sensibilité sur les performances du stockage. Cette approche est suffisante pour l'évaluation de sûreté car elle est considérée majorante pour le calcul des flux de radionucléides dans le COx. La question présente néanmoins un intérêt scientifique certain et la Commission encourage l'Andra à poursuivre des recherches sur ce sujet.

4.3.3 Rôle des failles pour l'hydrogéologie en grand, à l'échelle régionale

Les failles majeures sont réputées être absentes de la zone de transposition car c'est précisément à partir du constat de leur absence que l'on a pu définir une zone de transposition. Les failles bordières de la ZT peuvent néanmoins jouer un rôle hydraulique à grande échelle. Le rôle de ces failles ne peut être apprécié par des observations directes, mais il peut être inféré en fonction de leur orientation par rapport à l'état des contraintes tectoniques (direction des contraintes majeure et mineure). Ainsi, les failles parallèles à la contrainte majeure peuvent constituer une direction de drainage des eaux alors que les failles de direction orthogonale peuvent former des barrières hydrauliques. La démarche de quantification du rôle des failles dans l'hydrogéologie régionale repose au final sur la modélisation de l'écoulement, intégrant ces indices, et validée à partir de la piézométrie locale (c'est-à-dire le niveau de l'eau dans les forages).

4.3.4 Modèle hydrogéologique à grande échelle

Les données concernant l'hydrogéologie sont nombreuses et difficiles à acquérir ; elles ne peuvent être connues de manière homogène et exhaustive à toutes les échelles sur l'ensemble du bassin. Aussi, le recours à la modélisation qui garantit que les données sont cohérentes dans le respect des lois de l'hydraulique est essentiel pour parvenir à des évaluations quantitatives des transferts d'eau et des éléments en solution. En hydrogéologie, la grandeur caractéristique qui renseigne sur l'écoulement est la charge hydraulique, ou niveau piézométrique, que l'on peut mesurer en forage et dont la variation est suffisamment régulière pour permettre les interpolations entre les points de mesure (au niveau des forages). C'est cette grandeur que les modèles hydrodynamiques s'emploient à reproduire en vue de leur validation.

En matière de modélisation hydrogéologique, l'Andra a mené un travail progressif très important appuyé par plusieurs intervenants successifs (*cf.* Annexe II). L'Andra décrit et justifie les concepts, les méthodes et les outils utilisés pour modéliser les écoulements souterrains à l'échelle du Bassin parisien et à celle du secteur incluant la ZT du site Meuse Haute-Marne. L'intérêt de l'étude est d'identifier et quantifier, à l'échelle régionale puis à une échelle plus locale, les voies de transfert potentielles des radionucléides au sein des aquifères. Ces résultats sont essentiels pour paramétrer le volet transfert de l'analyse de sûreté. La démarche finale aboutit à un modèle de référence dit *intégré* (en ce qu'il permet de simuler un modèle régional et un modèle de secteur plus précis). Le modèle de référence s'emploie à reproduire la situation hydrogéologique actuelle et à mettre en évidence les exutoires de l'Oxfordien calcaire et du Dogger qui intercepteraient des écoulements ayant capté des flux de radionucléides en provenance du COx.

4.3.5 Projections géomorphologiques et hydrogéologiques

Le modèle hydrogéologique est ensuite utilisé pour décrire l'évolution de l'écoulement souterrain sur un million d'années sous l'effet de mécanismes géodynamiques internes (tectonique, eustatisme) et externes (érosion). Les données tectoniques sont issues d'études sur les mouvements passés, basées sur le tracé des rivières et la datation des terrasses alluviales du secteur. Les données climatiques font l'objet de deux hypothèses enveloppe distinctes :

- le maintien du climat actuel, c'est-à-dire l'alternance de périodes glaciaires et interglaciaires selon les cycles de Milanković en poursuivant l'interglaciaire actuel pendant 50 000 ans pour tenir compte de la valeur de départ déjà élevée de CO_2 dans l'atmosphère ;
- l'installation d'un climat sub-tropical persistant pendant 500 000 ans (en raison de perturbations anthropiques intenses sur le climat), suivi d'un retour aux alternances de périodes glaciaires et interglaciaires.

Ces conditions climatiques, couplées aux effets géodynamiques internes, sont traduites en vitesse d'érosion des plateaux et d'incision ou d'alluvionnement des rivières et également en présence ou non d'un pergélisol.

Cette évolution géomorphologique aura pour conséquence une accentuation du découpage du réseau hydrographique de drainage des calcaires du Barrois, et la mise à l'affleurement à l'échéance de 400 à 500 000 ans des calcaires de l'Oxfordien dans la vallée de l'Ornain qui deviennent un exutoire.

4.3.6 Avis de la Commission

Le contexte hydrogéologique régional est bien décrit grâce à la connaissance abondante de la géologie du Bassin de Paris et par le fait que la modélisation réalisée restitue bien les grandes lignes des écoulements. L'Andra a réduit progressivement les incertitudes en suivant l'évolution de l'état de l'art et en utilisant des outils capables de prendre en compte une phénoménologie de plus en plus détaillée. À l'échelle du secteur, des caractéristiques de l'écoulement qui étaient mal restituées par les premiers modèles ont conduit l'Andra à renforcer les mesures en créant de nouveaux forages et à analyser le rôle des failles régionales. C'est ainsi que les modèles ont permis de réviser le schéma d'écoulement dans le Dogger en introduisant un exutoire dans la Marne.

L'existence d'une surpression dans le COx par rapport aux aquifères sous- et sus-jacents est identifiée. Plusieurs phénomènes sont invoqués pour l'expliquer. La Commission note que chaque phénomène pris séparément peut générer des surpressions mais ne peut à lui seul expliquer celles observés dans le COx. L'Andra tient compte des incertitudes résultantes en adoptant des hypothèses conservatives sur l'origine des phénomènes et leurs paramètres lors de l'analyse des fonctions de sûreté assurées par les composants du stockage.

La présence du laboratoire souterrain de Meuse Haute-Marne dont les puits d'accès ont été volontairement conçus comme drainants a permis l'observation sur une trentaine d'années de l'influence de prélèvements d'eau sur les aquifères de couverture (calcaires de l'Oxfordien et du Barrois), ce qui constitue une information majeure sur le fonctionnement hydrodynamique pour renseigner l'étude d'impact des ouvrages de stockage, qui est une pièce réglementaire du dossier.

L'Andra s'est assurée que les besoins en eau, aussi bien pendant la phase de construction que la phase d'exploitation, seront couverts au moyen d'une ressource en eau locale

capable de satisfaire la demande. Toutes phases confondues, l'Andra prévoit qu'environ 80% des besoins totaux en eau soient couverts par les eaux recyclées sur site.

La prévision des conséquences de l'évolution géomorphologique et climatique repose sur la modélisation à long terme de plusieurs phénomènes (climat, érosion-sédimentation, tectonique). Elle est prise en compte en se référant à des situations enveloppe. Pour ce qui concerne la géodynamique, l'Andra s'est basée sur l'analyse des configurations géomorphologiques passées qui sont bien documentées sur le Bassin parisien, une structure géologique stable. Pour le climat, le maintien du climat actuel (avec ses cycles glaciaires), combiné à une surrection maximale, est retenu comme scénario extrême car cette hypothèse maximise les phénomènes érosifs.

Les aquifères ne font pas partie des composants du stockage, et ils ne remplissent pas à ce titre de fonctions de sûreté. Quelle que soit l'évolution géomorphologique sur le prochain million d'années, les écoulements dans les aquifères n'ont aucune influence sur les flux de radionucléides aux limites du COx, car ces derniers sont gouvernés par la diffusion dans le COx (cf. 4.3.6).

Le fonctionnement actuel des aquifères et ses projections dans le temps sont néanmoins utilisés pour le calcul des transferts de radionucléides depuis les limites du COx jusqu'aux exutoires, et pour le calcul de la dose qui est basé sur des scénarios convenus entrant dans le cadre de la sûreté.

4.4 Propriétés du COx

La connaissance des caractéristiques de la roche hôte est le préalable scientifique majeur du stockage géologique profond. Les propriétés du COx (*cf.* Annexe III) conditionnent le transfert de la chaleur et des fluides, la migration des espèces chimiques en solution et son comportement mécanique. Les paramètres contrôlant ces phénomènes ont été mesurés par l'Andra, pour Cigéo, à différentes échelles à partir de mesures en laboratoire de surface et *in situ*, en forage et dans le laboratoire souterrain de Meuse Haute-Marne. Les mesures ont porté sur la caractérisation du COx mais également de ses encaissants.

L'Andra s'est ainsi intéressée à l'ensemble des phénomènes et paramètres nécessaires à la compréhension du comportement thermo-hydro-mécano-chimique du COx dans son état naturel comme dans son état perturbé. La présence des ouvrages introduit en effet des perturbations dépendantes de mécanismes couplés qui seront examinées à la section 4.7.

4.4.1 Composition minéralogique

La composition minéralogique influe sur plusieurs phénomènes. La teneur en argiles conditionne la perméabilité de la formation et la rétention des solutés cationiques. Les carbonates et le quartz donnent de la rigidité à la matrice rocheuse favorable à la bonne tenue des excavations. Les connaissances acquises par l'Andra sur la minéralogie du COx ont permis de distinguer sur la ZIRA trois unités continues, de bas en haut l'unité argileuse (UA), plus riche en minéraux argileux (environ 40%), l'unité de transition (UT), et l'unité silto-carbonatée (USC)

présentant une variabilité minéralogique et un enrichessement en minéraux carbonatés. La composition minéralogique a conduit à la préqualification du COx comme roche hôte.

4.4.2 Données sismiques

Les données sismiques sont basées sur la mesure à haute résolution au sein de la formation des vitesses des ondes sismiques et permettent de détecter avec une incertitude de l'ordre de 2 m la position de marqueurs sismiques au sein de la formation qui révèleraient la présence de discontinuités lithologiques ou tectoniques. Leur traitement numérique permet également d'évaluer à grande échelle la rigidité de la formation (module d'Young dynamique) qui intéresse les phénomènes thermo-hydro-mécaniques (THM).

4.4.3 Propriétés thermiques

La connaissance de la conductivité thermique et de la capacité calorifique est nécessaire pour prévoir l'évolution de la température au sein du COx sous l'effet du dégagement de chaleur, d'une durée séculaire, des déchets exothermiques (essentiellement les colis de déchets HA). Ces paramètres se mesurent assez facilement sur des échantillons.

Les mesures de l'Andra montrent que ces valeurs sont peu variables dans le COx et bien corrélées à la lithologie. La valeur moyenne de conductivité thermique pour l'unité argileuse est de 1,4 $W{\cdot}m^{-1}{\cdot}K^{-1}$, avec un écart type de 0,25 (*cf.* Annexe III.1). Le phénomène diffusif du transfert de chaleur peut ainsi être modélisé avec une bonne fiabilité. Cette modélisation est utile pour dimensionner les alvéoles et les quartiers HA en respectant des contraintes de température. Par exemple, une température maximale de 90°C est visée au contact entre les colis de déchets HA et le COx et l'élévation de température au niveau de l'entraxe entre deux alvéoles HA doit être suffisamment faible pour garantir l'absence de fracturation de la roche sous l'effet de la dilatation thermique différentielle entre l'eau porale et la matrice solide. La modélisation de ce dernier phénomène nécessite la connaissance de paramètres supplémentaires tels que le module d'Young et le coefficient d'expansion thermique de la roche qui ont été aussi mesurés par l'Andra.

4.4.4 Porosité des différentes unités lithologiques

La porosité est une grandeur complexe car elle dépend des différentes interactions de l'eau et des solutés avec le milieu poreux.

La porosité totale, qui est le rapport entre entre le volume des vides et le volume de roche, renseigne sur le contenu total en eau lorsque la roche est saturée en eau. Elle est accessible par plusieurs méthodes expérimentales en laboratoire ou *in situ*. L'Andra retient en référence les valeurs obtenues par la mesure simultanée de la teneur en eau à 150°C et de la masse volumique des grains solides, qui fournit une valeur majorante car elle inclut l'eau liée contenue dans l'espace interfoliaire des argiles. Les valeurs apparaissent assez homogènes et augmentent avec la teneur en argiles de la roche. Une moyenne entre 15 et 18 % a été mesurée dans les trois unités argileuses du COx.

Un second type de porosité est la porosité accessible, qui correspond la fraction de la porosité totale dans laquelle une espèce chimique en solution peut pénétrer. Elle dépend de

mécanismes physico-chimiques se développant à l'échelle du pore, et varie avec la nature du soluté, la taille et l'organisation des pores. L'Andra a étudié ces interdépendances en laboratoire et *in situ* au laboratoire souterrain, au moyen d'expériences de diffusion de traceurs (anions, cations et eau tritiée HTO). La mesure de la porosité accessible, effectuée en même temps que celle du coefficient de diffusion est donc disponible pour différentes espèces chimiques. Les résultats montrent que la porosité accessible aux molécules d'eau tritiée est peu différente de la porosité totale.

Enfin, la porosité cinématique représente la fraction de la porosité totale dans laquelle l'eau porale peut circuler sous l'effet d'un gradient de charge hydraulique. Elle dépend de la taille et de la connectivité des pores. L'Andra estime sa valeur dans le COx à 40 % de la porosité totale, soit 8 %. La porosité accessible et la porosité cinématique interviennent dans les équations du transfert des radionucléides au sein du COx pour caractériser respectivement les termes diffusifs et de convectifs.

4.4.5 Perméabilité ou conductivité hydraulique

La perméabilité ou conductivité hydraulique est le paramètre essentiel du transfert convectif de l'eau dans le milieu poreux. Elle intervient comme paramètre de la loi de Darcy qui quantifie le flux d'eau en fonction du gradient de charge hydraulique. Sa mesure s'effectue sur des échantillons de roche ou *in situ* (forages et laboratoire souterrain) (*cf.* Annexe III.2).

Les différentes mesures de perméabilité réalisées par l'Andra s'accordent bien sur une loi log-normale unique, avec des valeurs comprises entre 10^{-14} et $6\ 10^{-12}$ m·s^{-1}.

La perméabilité est anisotrope, en raison de la stratification du dépôt sédimentaire, avec une valeur suivant la direction horizontale environ trois fois supérieure à la valeur suivant la direction verticale. La perméabilité en grand, c'est à dire à l'échelle de la formation du COx, est d'environ $3\ 10^{-13}$ m·s^{-1}.

Ces valeurs sont extrêmement faibles et confèrent au COx des propriétés exceptionnelles de confinement en limitant drastiquement les transferts d'eau.

4.4.6 Diffusion des espèces chimiques en solution

L'Andra a accordé beaucoup d'attention à la composition chimique de l'eau porale et a développé des méthodes pour prélever des échantillons représentatifs d'eau dans le COx qui est un milieu extrêmement peu perméable. Les concentrations mesurées ont été confrontées avec succès à un modèle thermodynamique de spéciation aqueuse capable de décrire la composition chimique d'une eau en fonction de la minéralogie de la matrice poreuse avec laquelle elle est en contact. La compréhension de la chimie de l'eau a permis de reconstituer une eau porale artificielle en quantité suffisante pour différentes expérimentations comme la mesure des coefficients de diffusion.

La diffusion des espèces chimiques dans l'eau libre ou contenue dans un milieu poreux est un phénomène physique bien connu, dû à l'agitation thermique qui uniformise au cours du temps les concentrations des espèces, dans l'espace qui leur est accessible. La diffusion se manifeste macroscopiquement par leur déplacement, qui est mesurable. Elle est décrite par la loi de Fick, dont le paramètre est le coefficient de diffusion.

Pour ses évaluations de sûreté, l'Andra a adopté un modèle de diffusion généralisé basé sur la notion de coefficient de diffusion effectif (D_e) d'une espèce et sur la porosité accessible. Dans ce modèle, le coefficient de diffusion effectif est défini par rapport au coefficient de diffusion de l'espèce dans l'eau pure (D_0) par la relation $D_e = D_0 \times F$, avec F le coefficient de mobilité relative, inférieur à 1, qui traduit le ralentissement des espèces dû à la géométrie et à la tortuosité de l'espace poral et aux interactions avec les surfaces minérales. Cette approche est validée par une explication de nature microscopique.

Le coefficient de diffusion effectif est directement mesurable pour une espèce chimique donnée grâce aux expériences de diffusion de traceurs. L'Andra a effectué des mesures sur échantillons en laboratoire et a vérifié les valeurs *in situ* par des expériences en laboratoire souterrain dont une menée sur 4 ans (*cf*. Annexe III.4). En se basant sur des expériences réalisées avec une espèce de charge nulle (molécule d'eau tritiée HTO), des espèces anioniques représentatives des radionucléides les plus mobiles (Cl^-, I^-,) et des espèces cationiques (notamment Cs^+ et Na^+), il a été constaté en règle générale que les anions diffusent moins vite que l'eau tritiée, qui diffuse elle-même moins vite que les cations. Le coefficient de mobilité relative F est de l'ordre de 0,01 dans l'unité argileuse du COx pour la molécule d'eau tritiée, c'est-à-dire qu'elle diffuse 100 fois plus lentement dans l'argilite du COx qu'elle ne le ferait dans un volume d'eau libre.

Le coefficient de diffusion effectif, pour les molécules d'eau tritiée HTO, est de l'ordre de $2{,}2\ 10^{-11}\ m^2 \cdot s^{-1}$ et pour les chlorures de $5\ 10^{-12}\ m^2 \cdot s^{-1}$. S'agissant des cations, des mesures ont été obtenues pour Na^+, K^+, Li^+, Cs^+, Ca^{2+}, Sr^{2+}, Zn^{2+} et indiquent des coefficients de diffusion effectif 2 à 8 fois plus élevés que celui de l'eau tritiée. Par ailleurs, on dispose de nombreuses données de diffusion de radionucléides dans l'eau pure à partir desquelles on peut remonter au coefficient effectif par analogie chimique de comportement.

L'Andra s'est également intéressée aux traceurs naturels dans le COx (Cl^-, He, isotopes stables de l'eau) avec des résultats assez peu significatifs étant donné les incertitudes sur l'origine de ces traceurs.

4.4.7 Rétention des espèces chimiques cationiques

Certaines espèces chimiques, principalement les cations, peuvent être retenues par la matrice solide, en particulier par sorption sur des sites à la surface des minéraux, ce qui peut fortement influencer leur migration. Cet effet est d'autant plus important que la teneur en minéraux argileux dans la roche est élevée. Compte tenu de la lenteur des déplacements par diffusion, le mécanisme chimique d'interaction peut être considéré comme instantané et réversible. Les modèles numériques couplés chimie-transport prennent en compte rétention et mécanismes de transport (diffusion et convection) pour modéliser la migration des espèces chimiques.

Une approche plus simple que cette modélisation couplée consiste à prendre en compte les phénomènes de rétention dans les modèles de transport hydro-dispersif via un coefficient de retard R par rapport à la vitesse de déplacement de la molécule d'eau tritiée. On peut démontrer que les deux approches sont équivalentes sous certaines conditions. Cette formulation est majorante vis-à-vis des temps de transfert au sein du milieu géologique, car l'effet est simplement de ralentir et non de retenir définitivement les radionucléides. Elle présente l'avantage de conduire à une modélisation simple car le coefficient de retard dépend uniquement de la porosité accessible et du rapport entre la concentration massique de soluté

fixé sur la matrice solide et sa concentration volumique dans l'eau porale. Ce rapport est appelé coefficient de distribution (Kd), il est exprimé en $L \cdot kg^{-1}$. S'agissant de la molécule d'eau tritiée, le Kd est nul et le coefficient de retard R vaut 1.

Il existe des bases de données internationales rassemblant des valeurs de Kd pour différents milieux et différents radionucléides (*cf.* 4.6.4). Les valeurs de Kd pour les actinides sont très élevées ; c'est pourquoi les calculs de transfert de l'Andra qui prennent en compte les incertitudes sur les paramètres de diffusion montrent qu'ils ne migrent pas hors du COx sur un million d'années.

4.4.8 Comportement mécanique du COx

Les propriétés mécaniques du COx concernent plusieurs phénomènes naturels ou induits par la présence du stockage.

La formation est soumise à un état de contrainte naturel. L'Andra a réalisé des mesures sur les différents forages de reconnaissance de la ZT et a identifié un état de contrainte uniforme en compression dans le COx (*cf.* Annexe I.4). La contrainte principale horizontale majeure (σ_H) est orientée N153°E ± 11° et vaut en moyenne 14,5 MPa à 500 m de profondeur ; la contrainte principale horizontale mineure (σ_h), qui lui est orthogonale, est de 12 MPa, ce qui est conforme à ce que l'on peut attendre sur le Bassin parisien. Il existe une légère anisotropie (entre 1,2 et 1,3) bien que ce type de roche soit capable de fluer. Pour mémoire, la contrainte verticale à cette même profondeur s'élève à 12 MPa.

L'état de contrainte naturel joue un rôle de premier rang sur la nature et l'extension de la zone endommagée qui apparaît lorsque l'on réalise une excavation au sein du COx. Pour définir la conception des ouvrages, l'Andra a analysé en détail la géométrie et les caractéristiques de la zone endommagée mécaniquement par le creusement de galeries de différentes orientations dans l'unité argileuse de son laboratoire souterrain. Autour de l'excavation, deux zones de fracturation tridimensionnelle apparaissent au creusement, dont la propagation dépend de l'orientation de l'ouvrage par rapport à l'état de contraintes *in situ* :

- une zone de fractures en extension connectées (ZFC) qui se développe depuis la paroi des ouvrages ;
- au-delà, une zone de fractures discontinues (ZFD) de cisaillement subparallèle à la paroi et faiblement connectées entre elles, dite zone de fracturation discrète.

L'extension de la zone fracturée reste proportionnelle au rayon R de la galerie creusée. Dans le cas de l'orientation de la galerie suivant la contrainte horizontale mineure, la valeur médiane de l'extension de la ZFC varie entre 0,2 × R (au parement) et 0,4 × R (au radier), tandis que pour la ZFD elle varie entre 0,2 × R et 1,0 × R, respectivement. La zone fracturée se compose alors de fractures de traction puis de fractures de cisaillement, qui se superposent en pelure d'oignon. Pour des ouvrages orientés selon la contrainte horizontale majeure, l'extension de la ZFC n'excède pas 0,3 × R (au parement) et pour la ZFD elle est au maximum de l'ordre de R. Les fractures s'organisent en chevrons successifs.

Ainsi, pour limiter l'endommagement des argilites, il est préférable d'implanter les alvéoles de stockage dans la direction de la contrainte horizontale majeure et, par conséquent, les galeries d'accès seront orientées dans la direction de la contrainte horizontale mineure.

Une conséquence majeure de la zone endommagée mécaniquement est la présence de fractures qui modifient en l'augmentant la perméabilité locale du COx sur une extension ne dépassant pas quelques mètres. Ce phénomène n'est pas de nature à compromettre la capacité de confinement du COx, dans la mesure où on s'assure qu'il subsiste une garde d'argilite saine suffisante au-dessus et en dessous de la zone endommagée par le creusement des galeries et alvéoles. Il peut cependant être une cause de contournement par l'eau des scellements des ouvrages souterrains après fermeture et resaturation du stockage. Des expériences dans le laboratoire souterrain ont montré que la perméabilité pouvait augmenter d'un facteur 100 dans la zone endommagée mais qu'il se produisait une cicatrisation des fractures lorsqu'elles se retrouvaient sous contrainte en présence d'eau, entraînant un retour des valeurs des perméabilités aux valeurs initiales du COx. De surcroît, l'Andra étudie des dispositions constructives particulières pour intercepter ces zones de circulation potentielles et les remplacer par un matériau très imperméable.

La connaissance du comportement hydro-mécanique du massif rocheux dans le temps est également essentielle pour dimensionner le mode de soutènement et de revêtement des ouvrages souterrains qui doivent rester fonctionnels sur un temps séculaire pour satisfaire les contraintes d'exploitation et de réversibilité. La zone endommagée induit un chargement mécanique anisotrope rapide puis résiduel sur les ouvrages, autrement appelé convergence, dès leur mise en place. L'Andra a réalisé au laboratoire souterrain de très nombreuses mesures de convergence en variant les diamètres, le mode de creusement, la nature des revêtements et l'orientation des galeries par rapport aux contraintes naturelles. Les mesures de déformation du COx en champ proche des excavations ont révélé le rôle hydro-mécanique primordial de la zone fracturée sur la tenue des ouvrages. Selon l'orientation des galeries, l'intensité de la convergence varie : si la galerie est orientée suivant la contrainte horizontale mineure, les déplacements verticaux peuvent atteindre 15 à 20 cm en 7 ans, alors que pour l'orientation suivant la contrainte horizontale majeure les déplacements les plus importants (horizontaux) se stabilisent à une valeur inférieure à 6 cm dès 4 ans. L'Andra a ainsi mis en évidence le comportement différé par fluage de la roche qui est bien représenté par une loi de type Lemaître. L'ensemble de ces données a servi à valider les modélisations du comportement hydro-mécanique du COx nécessaires au dimensionnement des excavations.

Une description fine des couplages entre la thermique, la mécanique et l'hydraulique est également nécessaire pour s'assurer de l'absence de fracturation du COx pendant la phase thermique engendrée par les colis de déchets HA. Sur la base d'expériences en laboratoire souterrain, l'Andra a recherché quel était le meilleur modèle conceptuel permettant de représenter ces couplages et l'a utilisé pour dimensionner les quartiers HA. Ce point est abordé plus spécifiquement à la section 4.11.

4.4.9 Avis de la Commission sur les propriétés du COx et sur leur préservation

L'analyse conduite par la Commission montre que les travaux réalisés par l'Andra, basés sur des expérimentations et des simulations numériques, permettent d'aboutir à une connaissance robuste et précise des propriétés du COx, lesquelles sont synthétisées ci-dessous.

Les caractéristiques essentielles du COx sont sa perméabilité extrêmement faible et ses propriétés structurales et chimiques bien comprises qui permettent de conclure que les transferts d'espèces chimiques se feront essentiellement par diffusion. Cela minimise les conséquences des incertitudes qui peuvent subsister sur la valeur de la perméabilité puisque dans les calculs du flux de radionucléides émanant du COx le terme diffusif sera prédominant sur le terme convectif.

Le fait que l'écoulement convectif à travers le COx soit faible est également favorable sur le plan hydrogéologique car il préserve l'indépendance des écoulements locaux entre les aquifères sus-jacents et sous-jacents, ce qui simplifie la modélisation de cet écoulement.

Le transfert des espèces cationiques dans le COx est fortement ralenti, voire nul en raison de leur interaction avec la matrice argileuse. Le transfert diffusif des espèces anioniques est ralenti du fait du phénomène d'exclusion anionique (cf. Annexe III). Ces propriétés favorables sont les fondements de la fonction de confinement du COx.

Les propriétés relevant de la thermique ou de la mécanique ont fait l'objet de caractérisations détaillées. Elles interviennent dans le choix des options de conception du stockage et dans la démonstration que les propriétés de confinement sont préservées.

Le comportement mécanique du COx a fait l'objet d'une caractérisation poussée. L'analyse du développement de zones fracturées induites par le creusement a guidé le choix du positionnement des galeries suivant les contraintes horizontales mineure et majeure. Il a été validé que leur réalisation n'induisait pas de fracturation au-delà d'une zone équivalente au rayon des galeries, et ne perturbait pas les propriétés du COx. Il a également été établi que le COx exerçait une convergence sur les ouvrages dont le dimensionnement des structures devra tenir compte.

4.5 Matériaux

De très nombreux matériaux seront nécessaires pour répondre aux besoins de construction, d'exploitation et de fermeture de Cigéo. Ils sont soigneusement sélectionnés pour répondre à un cahier des charges qui intégre des aspects fonctionnels et sécuritaires. L'élaboration de certains matériaux a nécessité d'importantes études pour optimiser leur composition en vue d'atteindre les propriétés spécifiques attachées à leur usage et à la fonction de confinement.

Dans cette partie, l'analyse de la Commission s'est portée sur les matériaux destinées à assurer les fonctions de sûreté en exploitation et à long terme. Les matériaux dont l'usage est temporaire pour la réalisation de la structure, la manutention des colis ou encore ceux associés à des équipements secondaires (descenderie, ventilation, etc.) ne sont pas examinés.

4.5.1 Démarche scientifique d'acquisition des connaissances

De nombreux résultats sur la caractérisation et l'élaboration des matériaux ont été acquis au travers des différents programmes de recherche menés par l'Andra. A l'issue des différentes études, l'Andra a regroupé les matériaux au sein de référentiels.

Il existe un référentiel pour chaque famille de matériaux. Bien que les différentes familles de matériaux puissent se destiner à plusieurs usages, une méthodologie commune est appliquée dans les études. Pour chaque usage, la méthodologie consiste dans un premier temps à décrire les effets de la nature des différents constituants, de leurs proportions et des conditions de fabrication sur la microstructure et les phases minéralogiques du matériau. Ces dernières exerçant un rôle sur les propriétés physico-chimiques du matériau, ce sont indirectement les propriétés thermo-mécaniques et de transfert des radionucléides qui sont considérées. Ainsi, sur la base de ces connaissances scientifiques fondamentales, le choix de chaque matériau est déterminé pour l'usage spécifique auquel il est destiné. Puis, la durabilité du matériau, c'est-à-dire le maintien de ses propriétés dans les conditions environnantes pendant sa durée de service, est abordée : pour chaque usage, le bilan des sollicitations mécaniques, thermiques et chimiques (parfois couplées) est dressé, et l'évolution des propriétés des matériaux constitutifs de chaque composant du stockage est examiné. Une attention particulière est portée sur la réactivité aux interfaces entre les matériaux.

Des lois de comportement sont établies sur la base de ces analyses et couplées pour développer des modèles numériques. Les données expérimentales acquises en laboratoire alimentent la modélisation du comportement à long terme dans les conditions environnantes attendues, et permettent ainsi de valider ou au besoin modifier le choix ou la composition des matériaux.

Outre le maintien des propriétés physico-chimiques dans les conditions de fonctionnement, le choix des matériaux découle de compromis entre exigences économiques, techniques et technologiques (faisabilité de mise en œuvre, sûreté d'exploitation), et disponibilité et régularité d'approvisionnement des matières premières sur toute la durée d'exploitation de Cigéo. Certains matériaux sont choisis parmi ceux déjà disponibles sur le marché, d'autres sont spécifiquement développés pour satisfaire aux exigences particulières du site de stockage. L'Andra poursuit ses recherches sur les matériaux (*cf.* 4.5.6).

La démarche à très large spectre développée par l'Andra permet de disposer des connaissances de base sur les caractéristiques essentielles (notamment mécaniques, thermiques, physico-chimiques) et la durabilité d'une vaste gamme de matériaux.

L'acquisition et la disponibilité des données sur les matériaux permet à l'Andra d'appuyer ses choix de conception, suivant la fonction requise pour le matériau et les sollicitations auxquelles il sera soumis. La démarche est continue et la bibliothèque de matériaux s'enrichit progressivement, mettant à jour certaines caractéristiques, augmentant les gammes de formulation et intégrant de nouveaux matériaux (y compris parfois très prospectifs).

4.5.2 Aciers

Les aciers ont été sélectionnés pour constituer des éléments du stockage dont la fonction est d'assurer soit la tenue mécanique, soit l'étanchéité. Les aciers ont été étudiés sous différentes sollicitations mécaniques et chimiques, y compris couplées, afin de qualifier leur comportement et quantifier leur évolution dans les conditions du stockage.

La corrosion reste la préoccupation majeure liée à l'emploi des aciers, puisque qu'elle limite la durabilité des éléments métalliques. Après fermeture du stockage, le milieu sera dépourvu d'oxygène. La corrosion anoxique produit de l'hydrogène (dihydrogène, H_2). De ce fait, les nuances d'acier sont sélectionnées pour limiter les effets de la corrosion. Les choix sont faits selon le meilleur compromis entre capacités technologiques démontrées, propriétés mécaniques et chimiques, coût maîtrisé et disponibilité des matériaux.

Pour le chemisage des alvéoles HA, le choix s'est porté sur une nuance d'acier à carbone non allié, qui présente un mode de corrosion généralisée. Ce type de corrosion uniformément répartie et homogène présente l'avantage d'être plus prédictible et donc facile à modéliser, que les corrosions localisées. On peut ainsi dimensionner l'épaisseur des composants pour garantir le maintien d'une épaisseur saine suffisante pour assurer les fonctions de sûreté et de récupérabilité sur les périodes considérées. Par ailleurs, l'acier du chemisage des alvéoles HA doit présenter une conductivité thermique assez élevée pour favoriser la dissipation du flux thermique issu des colis primaires HA au travers du COx.

Les galeries, puits, radiers et alvéoles MAVL sont réalisés en béton armé ou béton projeté qui peut être soit boulonné soit revêtu de cintres métalliques. Le ferraillage du génie civil (voûtes et radiers) ainsi que les boulons représentent environ la moitié de la quantité totale d'acier utilisée sur l'ensemble d'un alvéole. Une autre solution envisagée, liée à la démarche de progressivité, est le remplacement du béton armé par du béton fibré dans les parties structurelles les plus sollicitées mécaniquement. Plus résistant mécaniquement, il permet de s'affranchir du renforcement par des armatures métalliques.

4.5.3 Matériaux argileux

Des matériaux argileux sont identifiés pour constituer les noyaux des scellements et les remblais. En plus d'une très bonne compatibilité chimique avec les argilites du COx, ces matériaux sont très peu perméables à l'eau, et donc participent au confinement des radionucléides.

Pour constituer les scellements, une argile gonflante sodo-calcique de type bentonite MX80 au comportement mécanique plastique à l'état saturé, est retenue. Elle présente des pressions de gonflement pouvant être très élevées et ajustables en fonction de la densité sèche obtenue par compactage à la mise en place. Les études ont permis de dégager, en conditions saturées et non saturées (en eau), les grandes lignes des comportements hydraulique-gaz et hydro-mécanique de cette argile, ainsi que des matériaux obtenus par mélange avec des additifs. De plus, ce type d'argile a une capacité de déformation et de cicatrisation hydraulique qui permet d'accommoder les sollicitations hydro-mécaniques.

Dans les études pour la conception de Cigéo, il est apparu que la production d'H_2 par corrosion anoxique et par radiolyse de l'eau et des matières organiques pouvait générer des pressions de gaz importantes. Dès lors, l'Andra a travaillé sur la possibilité d'évacuer partiellement cette

pression de gaz au travers des scellements : il s'agissait donc trouver un matériau imperméable à l'eau mais passant au gaz. L'Andra a qualifié un tel matériau constitué d'un mélange d'argiles gonflantes et d'une quantité déterminée de sable (autour de 60 %). La perméabilité au gaz, pilotée par le squelette granulaire de ce matériau saturé, garantit la fonction passante au gaz pour des pressions d'entrée de 1 à 2 MPa, alors que sa conductivité hydraulique reste inférieure à 10^{-11} m·s^{-1}, limitant ainsi fortement la circulation de l'eau.

Les travaux de creusement de Cigéo généreront d'importants volumes de matériaux excavés, notamment les argilites du COx. Ils seront entreposés dans des verses. Pour limiter l'impact environnemental, il est envisagé de réutiliser ces argilites pour le remblaiement des galeries. Elles seraient broyées, éventuellement mélangées à des additifs comme des argiles gonflantes, de la chaux ou du sable puis compactées pour diminuer les vides résiduels, et par conséquent leur compressibilité. On parle alors d'argilites remaniées. Leur comportement physico-chimique est largement caractérisé en fonction de la durée et des conditions d'entreposage, de la granulométrie, du mode de mise en place et de l'emploi d'additifs.

La Commission note avec intérêt la proposition de réutilisation des argilites excavées pour le comblement des galeries. Le plan de gestion des argilites en surface s'inscrit dans le plan de gestion des verses et tient compte de leur évolution chimique et mécanique en vue de leur réutilisation.

4.5.4 Matériaux cimentaires

Les matériaux cimentaires (bétons, mortiers ou coulis) sont fabriqués avec des gammes de constituants variées et facilement disponibles. Leur mise en œuvre est simple et robuste. Un important retour d'expérience sur l'utilisation de ces matériaux est disponible dans le domaine du génie civil conventionnel ou nucléaire.

Les propriétés physico-chimiques des matériaux cimentaires peuvent être adaptées en optimisant leur formulation (i.e., la nature des constituants et leurs proportions). Il est ainsi possible de développer un matériau adapté à une exigence spécifique d'utilisation et pour des conditions environnementales particulières.

Pour toutes ces raisons, les matériaux cimentaires ont été sélectionnés pour réaliser la majeure partie des ouvrages du stockage : puits, descenderies, galeries principales et secondaires, alvéoles MAVL et remplissage des vides à l'extrados des alvéoles HA.

Dans les conditions de stockage, les matériaux cimentaires subissent des sollicitations thermiques liées à l'exothermicité de certains colis de déchets, des sollicitations mécaniques induite par le COx (déformations différées due au fluage des argilites) et des sollicitations chimiques au contact de l'eau de la formation hôte. La durabilité des matériaux cimentaires formulés a donc été validée en considérant l'impact de la température, le comportement mécanique différé et les dégradations chimiques (hydrolyse, carbonatation et attaque sulfatique). De plus, la corrosion des armatures en acier dans le béton est étudiée.

Ces matériaux cimentaires sont adaptés aux contraintes liées à leur mise en place. Le soutènement des structures du génie civil est prévu en béton, dont le type est conditionné par le mode de creusement et l'usage : voussoirs préfabriqués en béton C60/75 (classe de résistance en compression de 60 MPa), ou cintrage et boulonnage recouvert par du béton

projeté. Le béton armé des radiers, voiles, et parois de radioprotection de fond d'alvéole est coulé en place.

Le matériau de remplissage de l'espace annulaire (MREA) des alvéoles HA est un exemple d'adaptabilité des matériaux cimentaires aux besoins. Destiné à être injecté entre l'extrados du chemisage des alvéoles HA et le COx, ce coulis doit limiter le volume de vides résiduels. Il permet également la neutralisation de l'acidité résultant de l'oxydation des pyrites contenues dans les argilites, qui provoquerait la corrosion du chemisage en acier pendant la phase d'exploitation où le contact avec l'oxygène de l'air est possible. Le MREA doit donc être suffisamment fluide pour permettre un remplissage optimal du vide annulaire, mais surtout constituer une réserve alcaline suffisante à la neutralisation acide pendant le transitoire thermique. Pour satisfaire le critère d'alcalinité, des matériaux hydrauliques et pouzzolaniques ont été additionnés à un ciment ordinaire Portland (CEM I), tandis que l'ajout d'argile sodo-calcique (bentonite) contrôle la demande en eau. Cette première solution a été testée en laboratoire et à plus grande échelle au laboratoire souterrain. La méthodologie de formulation permettant de répondre aux exigences a été validée. D'autres formulations utilisant des ciments à ajouts pouzzolaniques (de type CEM III) ont été par la suite qualifiées. Leur validation démontre la capacité de l'Andra à adapter la composition du MREA le moment venu et en fonction des matières premières disponibles, sur les bases d'une méthode éprouvée.

4.5.5 Avis de la Commission sur l'étude des matériaux

Le corpus d'études réalisées par l'Andra pour sélectionner, formuler, caractériser le comportement des matériaux lui a permis d'acquérir les données suffisantes pour la modélisation à long terme de l'évolution du site de stockage.

L'analyse par la Commission de la méthodologie adoptée par l'Andra pour le choix, la caractérisation multiphysique et à différentes échelles (essais en laboratoire à petite et grande échelle et essais in situ *dans le laboratoire souterrain) pour alimenter la modélisation du comportement des matériaux sélectionnés confirme la robustesse de la démarche. Cette démarche repose notamment sur un processus itératif qui permet d'adapter les caractéristiques des matériaux suivant les fonctions particulières visées et les sollicitations de chaque élément du stockage.*

Bien que l'Andra ait choisi des matériaux relativement courants, la disponibilité des matières premières des matériaux identifiés pourrait changer au cours de la période d'exploitation. Par exemple, la disponibilité du clinker (constituant majoritaire des ciments) est remise en question par la transition énergétique : sa fabrication à très haute température est basée sur une réaction chimique produisant des quantités importantes de CO2. De même, la disponibilité de matériaux pouzzolaniques, co-produits industriels comme les cendres volantes et laitiers de hauts fourneaux, est remise en question par les évolutions prévisibles des procédés de fabrication. Pour réagir de façon efficace à l'évolutivité des disponibilités, l'Andra prévoit de poursuivre des travaux d'accompagnement scientifique pour ménager une certaine flexibilité dans les choix de matériaux au moment opportun. Si une modification de matériau devait être opérée, sa qualification serait nécessaire. Des études sur des matériaux prospectifs sont d'ores et déjà conduites.

4.5.6 Matériaux innovants prospectifs

La version actuelle du plan directeur pour l'exploitation de Cigéo prévoit sa fermeture définitive vers 2170. D'ici là, le stockage sera développé de façon incrémentale et déployé progressivement, offrant notamment la possibilité dans le futur d'intégrer les optimisations rendues possibles par les progrès scientifiques et techniques et par le retour d'expérience, dans le respect des objectifs de sûreté en exploitation et après fermeture.

À titre d'exemple, l'Andra continue d'explorer trois voies prospectives concernant les matériaux :

- la substitution des aciers par des matériaux non métalliques afin de limiter significativement la production d'hydrogène par corrosion : conteneurs en céramique, armature et fibres en résine pour le béton armé ;
- la valorisation des argilites excavées : matière première pour des géopolymères en remplacement des matériaux cimentaires.

La Commission recommande la poursuite des actions de recherche conduites sur des matériaux innovants. Ces recherches prospectives peuvent alimenter des évolutions du concept si elles s'avèrent utiles.

4.6 Chimie des radionucléides et composants de Cigéo

4.6.1 Propriétés chimiques

Les radionucléides présents dans les déchets HA et MAVL sont formés dans le combustible nucléaire par fission, captures neutroniques ou décroissances radioactives. On distingue essentiellement les radionucléides « produits de fission » isotopes d'éléments chimiques classiques produits par la réaction de fission, et les radionucléides transuraniens produits par capture neutronique, notamment le plutonium et les « actinides mineurs », dénommés « mineurs » car ils sont très minoritaires par rapport à l'uranium et au plutonium. Le retraitement du combustible usé (CU) pour en extraire le plutonium et l'uranium laisse comme déchets ultimes d'une part des solutions concentrées en produits de fission et en actinides mineurs qui sont conditionnées dans une matrice de verre borosilicaté et constituent les déchets HA, d'autre part des effluents et des matériaux solides contaminés qui constituent les déchets MAVL conditionnés dans différents types de colis. On les retrouve donc tous dans les colis primaires de déchets HA et MAVL, en quantité plus ou moins importantes. Ce sont les déchets HA qui concentrent 95 % de la radioactivité

Les propriétés chimiques générales de ces radionucléides sont connues des radiochimistes. Leurs propriétés particulières, qu'il est nécessaire de connaître pour les conditionner en colis primaires et pour étudier la robustesse de ces colis, ont été étudiées depuis 50 ans. Ainsi, les bases de données sur les propriétés des radionucléides impliqués dans la gestion des déchets HA et MAVL couvrent aujourd'hui toutes les situations chimiques et géochimiques de Cigéo et son environnement et permettent de conduire les analyses de performance.

Le comportement des différents radionucléides à vie longue présents dans les colis de déchets a été étudié en détail par l'Andra tant pour déterminer leurs formes chimiques prépondérantes

(spéciation) que pour caractériser leur capacité à migrer (diffusion, rétention), ce dans l'objectif d'évaluer leur contribution potentielle à l'impact d'un stockage. Parmi tous les radionucléides à vie longue contenus dans les déchets HA ou MAVL, les radionucléides anioniques comme ^{129}I, ^{36}Cl, ou ^{79}Se, produits de fission émetteurs beta plus ou moins radiotoxiques, joueront un rôle important. Pour l'iode et le chlore, les anions sont simples (I^- et Cl^-) dans toutes les conditions du stockage. Les formes anioniques sous lesquelles le sélénium peut se trouver sont polyatomiques et dépendent des conditions redox (oxydantes ou réductrices) locales. L'eau porale du COx sain est réductrice et la forme stable du sélénium est HSe^-. Les anions ont très peu d'interactions avec les composants du stockage et par conséquent ces radionucléides sont mobiles. Au contraire, les radionucléides comme les isotopes des actinides mineurs (Am, Np et Cm), émetteurs alpha très radiotoxiques, ont des interactions fortes avec les composants du stockage car ils sont sous forme cationique simple ou fortement hydrolysée et seront peu mobiles (voire bloqués) dans les composants de Cigéo.

Dans le stockage des déchets HA et MAVL, la chimie intervient de façon pratique dans la fabrication des colis de déchets, dans l'identification des espèces porteuses de la radioactivité issue de la dégradation des colis par diverses agressions, essentiellement par l'eau, et dans le transport de ces espèces dans les solutions aqueuses en présence ou non de matériaux, notamment du COx sain ou altéré. Elle intervient aussi dans le choix des matériaux argileux pour combler les vides laissés par le creusement des alvéoles de stockage, les galeries et les liaisons surface-fond. Tous les matériaux sont sélectionnés pour leur capacité à être produits à l'échelle industrielle et leur capacité à éviter en toutes circonstances le retour massif des radionucléides à la biosphère.

4.6.2 Colis de déchets HA

Les colis primaires de déchets HA sont des objets manufacturés de haute technologie. La matrice de confinement est un verre borosilicaté, dit verre nucléaire. Sa composition a été étudiée pour qu'il incorpore les produits de fission et les actinides mineurs dans la matrice vitreuse. Le colis primaire contient 400 kg de verre coulés dans un conteneur en acier inoxydable. Sa puissance thermique initiale est de quelques kilowatts et décroît à long terme, après quelques siècles pendant lesquels la majorité des produits de fission auront disparu par décroissance radioactive. Ce colis primaire est mis dans un conteneur de stockage en acier qui assure une barrière supplémentaire entre la matrice vitreuse et l'eau ainsi qu'une limitation de la dose au contact de la surface externe du colis. Tous les paramètres des opérations de fabrication des colis primaires de déchets HA sont spécifiés et contrôlés.

Les colis de stockage HA représenteront 95 % de la radioactivité de Cigéo. La connaissance de leur comportement est donc capitale.

Les colis de stockage des déchets HA en situation de stockage resaturé en eau seront essentiellement altérés sous l'action de l'eau porale provenant du COx. Les métaux seront lentement transformés sur des millénaires en produits de corrosion et les conteneurs finiront par perdre leur étanchéité. Les radionucléides libérés et autres éléments au contact de l'eau commenceront alors à migrer dans le quartier HA en ruine pour rejoindre le COx à proximité des alvéoles puis le COx sain, environnement argileux propice à l'immobilisation des radionucléides, notamment les actinides.

Les mécanismes de lixiviation-dissolution du verre sont bien identifiés ainsi que les paramètres importants qui les accélèrent ou bien les ralentissent. Les données obtenues dans les expériences, dont certaines ont duré jusqu'à une dizaine d'années, ont permis d'établir un modèle cinétique de relâchement des radionucléides en deux temps. La vitesse de dissolution du verre lixivié est initialement importante quand l'eau vient au contact du verre (V_0). Les réactions de surface créent un gel d'altération silicaté, qui protège le verre et a pour effet de diminuer la vitesse de dissolution d'un facteur dix mille (V_R).

4.6.3 Colis de déchets MAVL

Les déchets MAVL sont très divers : coques en zircaloy et embouts en acier des assemblages de combustible usé, sels et divers composés solides, matières organiques. Ils sont conditionnés dans des matériaux de confinement divers : ciment, sable, bitume. Tous les colis MAVL ont en commun la particularité d'être le siège de phénomènes de radiolyse de l'eau résiduelle des déchets et de la matière organique qu'ils contiennent. Dans tous les cas, il y a production d'hydrogène et, selon les colis, de diverses molécules exogènes au stockage, qui modifient localement le comportement des radionucléides par rapport à leur comportement en milieu simplement alcalin. Les colis de stockage sont des structures en béton qui contiennent en général quatre colis primaires.

Le relâchement des radionucléides à partir des différents colis de déchets MAVL résulte de nombreux phénomènes chimiques de dégradation, qui s'opèrent en synergie. Ces phénomènes sont bien identifiés selon les alvéoles et par famille de colis mais il n'existe pas de modèle général qui puisse les prendre en compte, comme dans le cas des colis de déchets HA, en raison des différences des situations (*cf.* Annexe IV.4). Pour chaque famille et chaque situation, des modèles ont été élaborés. Ces modèles sont souvent compliqués car ils dépendent de nombreux paramètres. Ils sont alors simplifiés en prenant en compte des approximations majorantes, admises par la communauté scientifique.

4.6.4 Migration des radionucléides dans les alvéoles

Les radionucléides libérés lors de la ruine des colis migrent par diffusion depuis les quartiers HA et MAVL vers le COx environnant. Au-delà de l'environnement proche du stockage, la migration dans le COx vers le toit et le mur du COx a lieu par diffusion-convection avec une forte prédominance de la diffusion (*cf.* 4.4.6).

On dispose de valeurs solides des paramètres de diffusion (coefficient de diffusion et porosité accessible) et de rétention (coefficient de distribution Kd) pour la plupart des radionucléides et pour des milieux poreux argileux bien définis dans lesquels les espèces des radionucléides et les phases solides sont bien identifiées.

Ce n'est pas le cas pour les systèmes résultant des interactions entre l'eau de pore du COx et les matériaux de dégradation des colis, lorsqu'elle re-sature les alvéoles. Les solutions ont des compositions inconnues et les phases solides sont complexes. Les valeurs des paramètres de la migration des radionucléides dans les milieux dégradés autour des colis HA ne sont pas tous accessibles à l'expérience.

Les valeurs des coefficients de diffusion de ces milieux sont choisies de façon très conservative. La porosité accessible de ces milieux est choisie par analogie. L'approche retenue pour les

valeurs de solubilité s'appuie sur des calculs thermodynamiques à partir des bases de données de thermodynamique chimique qualifiées à l'échelle internationale (notamment sous l'égide de l'AEN/OCDE pour les radionucléides). On calcule une composition des solutions et on définit les espèces dominantes des radionucléides dans ces solutions, pour lesquelles on a des valeurs de Kd obtenues expérimentalement dans d'autres conditions. Cela donne des fourchettes de valeurs de Kd. Même avec les valeurs les plus défavorables de ces fourchettes, il est démontré que les actinides mineurs ne migrent pas, tant les valeurs de Kd associées aux espèces d'actinides sont élevées.

4.6.5 Appréciation de la Commission sur les données disponibles

Les données scientifiques de chimie concernant le relâchement des radionucléides par les colis et leur migration ont été établies sur la base d'expériences complémentaires conduites depuis plusieurs dizaines d'années par une large communauté de chimistes en France et à l'étranger. Les résultats de ces expériences ont pour la plupart été publiés dans la littérature ouverte, compilés et rendus accessibles dans des bases de données internationales.

Concernant le relâchement des radionucléides depuis les colis de déchets HA, les données sont convergentes, fiables et complètes. Elles permettent de construire un modèle paramétré robuste pour évaluer les performances des colis HA vis-à-vis du confinement de la radioactivité.

Pour les migrations des radionucléides par diffusion dans le quartier HA, le milieu de diffusion est trop hétérogène et complexe pour une représentation explicite découlant de mesures directes : les valeurs des paramètres caractéristiques sont alors établies par analogies et sur la base de calculs de thermodynamique. Cette façon de faire permet de se ramener à des situations plus simples qui utilisent des valeurs majorantes des paramètres. Les calculs sont classiques et les données thermodynamiques proviennent des bases de données internationales.

Pour les colis MAVL ne renfermant ni sels ni matières organiques, les données expérimentales sur les modes de relâchement sont convergentes, fiables et complètes et soutiennent un modèle simple de relâchement. Pour les autres colis MAVL elles sont incomplètes ou trop dispersées et il n'y a pas de modèle universel pour l'ensemble des colis MAVL. Il a donc été nécessaire d'utiliser des modèles spécifiques à chaque cas. Ceux-ci sont simples et utilisent des valeurs majorantes (parfois très majorantes) pour les paramètres.

Les données concernant la migration dans le quartier MAVL sont à l'échelle métrique, bien inférieure à la distance entre alvéoles dans le quartier MAVL. À l'échelle du quartier, elles ne sont bien connues que pour les alvéoles contenant des colis sans sels ni matières organiques. Pour les autres alvéoles, les données expérimentales sont dispersées mais sont confortées par des calculs thermodynamiques qui donnent des valeurs compatibles avec les fourchettes des valeurs mesurées. Cette approche est suffisante pour établir une situation enveloppe.

En conclusion, les calculs des termes sources des quartiers HA et MAVL résultent respectivement de l'application des modèles élaborés et de modèles simplifiés, tant pour le relâchement des radionucléides par les colis que pour la migration des radionucléides vers le COx sain. Tous ces modèles, en particulier les modèles simplifiés, conduisent à des valeurs majorantes tant pour le relâchement des radionucléides que pour leur migration.

4.7 Chimie des interfaces

Dans Cigéo les interfaces entre matériaux sont nombreuses. En présence d'eau, des réactions chimiques complexes se déclenchent entre matériaux.

4.7.1 Interactions COx-béton-perturbation alcaline

Comme il y a beaucoup de matériaux cimentaires dans Cigéo, la perturbation COx-béton a lieu en de nombreux endroits. La dégradation des silicates de calcium des matériaux cimentaires des alvéoles MAVL conduit à l'alcalinisation de l'eau et à une charge en silice et en calcium, lesquels par diffusion en extrados des parois des alvéoles transforment les smectites en illites. Cela modifie, sur le plan chimique, les propriétés de rétention du COx sur au maximum un mètre. La conséquence est que, lorsque les radionucléides diffuseront vers le COx depuis les alvéoles, ils rencontreront d'abord le COx perturbé. Les données de migration (coefficient de diffusion, porosité accessible et Kd) dans ce milieu ne sont pas significativement différentes de celles dans le COx sain.

4.7.2 Quartier HA et interactions COx-fer-verre

À long terme, l'interface entre le verre des colis de déchets HA et le COx est constituée en majorité de produits de corrosion du fer en milieu anoxique et d'argilites transformées par la présence de matériaux cimentaires de remplissage de l'extrados du chemisage, plus ou moins saturé en eau. C'est une zone à la chimie très complexe, d'épaisseur métrique. Seuls les radionucléides sous forme d'ions simples y diffusent. Tous les autres radionucléides, dont la spéciation est variée en milieu alcalin, sont majoritairement retenus en raison des interactions multiples avec les oxydes de fer et les argilites altérées. Ce phénomène est négligé dans les évaluations de l'Andra, ce qui est conservatif.

4.7.3 Quartier MAVL et interactions COx-sels-matières organiques-perturbations saline et organique

La perturbation saline du COX est due à la diffusion en extrados des alvéoles des nitrates et sulfates d'alcalins libérés par les colis MAVL salins. Les propriétés physico-chimiques des minéraux argileux du COx sont modifiées. Le panache salin peut avoir au maximum une extension décamétrique avec un gradient de force ionique diminuant rapidement avec la distance. Les données de migration de quelques radionucléides dans le COx ainsi perturbé peuvent alors être significativement différentes de celles dans le COx sain si la force ionique est élevée. Cela dépend des radionucléides, et va dans les deux sens : augmentation ou diminution des valeurs des paramètres. Ces effets disparaissent à quelques mètres des parois des alvéoles.

De même la perturbation organique du COx a pour origine la diffusion de nombreuses molécules organiques en dehors des alvéoles contenant des colis des déchets organiques. Les paramètres de diffusion de quelques-unes de ces molécules sont connus. Elles entrent en compétition avec les radionucléides lorsque ceux-ci diffusent vers le COx sain et, en général, diminuent leur rétention mais seulement au-delà de seuils de concentration. Le panache organique peut concerner tout le COx entre deux alvéoles de colis de déchets organiques.

4.7.4 Appréciation de la Commission sur les données disponibles

Les données concernant les modifications chimiques du COx dues à la libération des composés chimiques des colis (sels, matières organiques) accompagnant le relâchement des radionucléides sont bien documentées. Elles donnent la garantie scientifique nécessaire pour la conduite des calculs thermodynamiques sur la migration des radionucléides.

4.8 Couplages entre mécanismes physiques et physico-chimiques

Les paragraphes précédents ont illustré que de nombreux processus physiques et chimiques sont à l'œuvre dans l'environnement proche du stockage. Tous ces processus s'influencent les uns les autres par des couplages plus ou moins forts et parfois des rétroactions.

Par exemple, la température dans le milieu est la résultante du couplage entre la production de chaleur (par les colis les plus exothermiques) et les transferts de chaleur dans le système. La température a un impact sur les écoulements (modification de la densité et de la viscosité des fluides et de la conductivité hydraulique), sur la mécanique (dilatation différentielle des matériaux), sur la chimie (modification des équilibres thermodynamiques et des cinétiques réactionnelles) et sur le transport des espèces chimiques (modification des coefficients de diffusion, et indirectement convection par effet densitaire). La température peut également avoir des conséquences sur les changements de phase (équilibres liquide-gaz, transformations minéralogiques).

L'hydrodynamique a un impact sur les conditions mécaniques (la dynamique de circulation de l'eau et du gaz contrôle l'évolution des pressions de fluides) et sur la thermique (le transfert convectif de la chaleur est dépendant de la vitesse d'écoulement des fluides). La mécanique impacte l'hydrodynamique avec le développement d'une fracturation (zone de fracturation connectée autour des excavations) et sa cicatrisation.

De la même manière, l'évolution chimique (notamment dissolution, précipitation ou transformation de minéraux) modifie les propriétés de la roche et des bétons avec des impacts sur l'hydrodynamique et la mécanique.

Ces processus peuvent se dérouler à différentes échelles de temps, ce qui permet le cas échéant de les découpler dans la chronologie d'évolution de l'ouvrage en ne prenant en compte que ceux qui se manifestent de manière synchrone. Ainsi, les principaux épisodes transitoires après la fermeture du stockage concernent :

- la phase thermique, qui est contrôlée par la décroissance radioactive des colis les plus actifs, et dure plusieurs milliers d'années dans le COx à distance des quartiers HA ;

- la phase de resaturation en eau des alvéoles et de leur environnement proche (aussi appelée transitoire hydraulique-gaz) : la désaturation se produit pendant l'exploitation, elle est maintenue, après fermeture par la pression de gaz liée à la production d'hydrogène (produit par radiolyse de l'eau et corrosion anoxique des aciers) ; sa durée est de quelques centaines de milliers d'années ;
- l'évolution chimique des composants du stockage : elle concerne aussi bien l'évolution minéralogique des matériaux du stockage au niveau des interfaces, la corrosion des colis de stockage, et finalement la rétention des radionucléides dans le COx.

Les couplages dominants peuvent être identifiés au cours de ces différents transitoires.

La phase thermique est associée à des couplages forts entre mécanique, thermique et hydrodynamique avec pour enjeu la quantification des contraintes mécaniques s'exerçant sur le COx, particulièrement à l'entraxe des alvéoles HA. Pendant cette phase, les alvéoles sont désaturés et les colis inaltérés, ce qui permet de découpler les aspects de libération des radionucléides de ceux liés à leur transfert.

Le transitoire hydraulique-gaz présente des couplages forts entre transfert des fluides (avec la resaturation de l'environnement proche du stockage), la production de gaz (production d'H_2 contrôlé par la disponibilité de l'eau et les vitesses de corrosion), et la mécanique (évolution des contraintes en fonction des pressions de gaz dans le milieu). La compréhension détaillée de ces couplages est utile car elle permet de vérifier que les surpressions de gaz au sein de l'ouvrage ne sont pas susceptibles d'endommager le COx. Ces couplages peuvent, en revanche, être ignorés pour le calcul du transfert des radionucléides à travers le COx si l'on fait l'hypothèse conservative que le stockage est totalement resaturé dès sa fermeture.

Le couplage de l'ensemble des mécanismes dits thermo-hydro-mécano-chimiques (THMC), est pris en compte pour la compréhension quantifiée de l'évolution des composants du stockage dans l'objectif de l'évaluation de performance.

En fonction des besoins et des contraintes, l'Andra effectue des calculs prenant en compte soit le couplage complet entre ces mécanismes soit une formulation simplifiée par le découplage (éventuellement séquentiel) des processus. La justification des découplages est systématiquement apportée par des conditions de déploiement temporel des processus, par des calculs complètement couplés sur des sous-ensembles du stockage ou par la démonstration que ces découplages conduisent à des calculs majorants (garantie de conservatismes) vis-à-vis du transfert des radionucléides dans le COx.

4.9 Environnement

L'Andra a réalisé une étude d'impact détaillée, qui couvre bien l'ensemble des incidences sur l'environnement du projet global Cigéo, comprenant le centre de stockage et l'ensemble des opérations nécessaires à sa réalisation et son exploitation.

Ces incidences sont évaluées en suivant la méthodologie consacrée, à partir de la situation initiale et en définissant les mesures d'évitement, de réduction et le cas échéant de compensation. Elles couvrent bien toutes les dimensions attendues : l'atmosphère, le sol,

le sous-sol, les eaux, la biodiversité, les risques de catastrophes et le paysage. Conformément à la réglementation, les mesures de compensation sont très finement détaillées.

La situation de référence, ou état initial, est, dans l'étude d'impact réalisée par l'Andra, la situation sans déchets radioactifs, qualifiée *d'état actuel*. Cette approche est correcte si on se limite à la région dans laquelle est implantée le stockage mais si on considère la situation à l'échelle de la France, elle revient à sous-estimer les aspects négatifs de la situation initiale. En effet, dans la situation initiale, les déchets existants ne sont pas encore stockés mais seulement entreposés ce qui est une situation moins satisfaisante. Cependant, la Commission note par ailleurs que dans certaines parties de l'étude (relatives aux transports notamment), les situations initiales ne sont pas les mêmes, ce qui complique l'interprétation des résultats sans remettre en cause les conclusions ci-dessus.

La Commission estime que l'étude d'impact apparaît complète et convaincante. Elle recommande que les versions ultérieures adoptent autant que possible un format plus compact, limité aux rubriques du format imposé, afin d'améliorer sa lisibilité.

4.10 Évolution du climat

Le Centre de stockage Cigéo sera soumis aux aléas météorologiques et climatiques durant toute sa vie, comprenant les phases de construction, d'exploitation, de démantèlement et de fermeture qui s'étendront sur plus d'un siècle. Pendant les phases de surveillance et de post-fermeture, le site d'implantation de Cigéo sera soumis aux conséquences de l'évolution du climat régional sur le très long terme, plusieurs centaines de millénaires. La Commission a donc analysé la fiabilité et la complétude des recherches conduites par l'Andra pour évaluer l'évolution des conditions climatiques sur le site de Cigéo au cours des prochains siècles et, plus généralement, sur la région de Meuse Haute-Marne tout au long du prochain million d'années.

Le climat de la planète Terre sur une période de l'ordre du million d'années dépend principalement de deux facteurs, l'un astronomique (la position de la planète sur l'orbite elliptique qu'elle décrit autour du soleil) et l'autre géochimique (la teneur en gaz à effet de serre de l'atmosphère).

L'Andra a fait appel aux équipes scientifiques qui se sont attachées à traiter ce problème dans le cadre du projet européen BIOCLIM. Des modèles climatiques globaux de complexité intermédiaire, seuls applicables sur des périodes de temps aussi longues, ont été développés et validés sur leur capacité à simuler les climats passés.

Pour simuler, à l'aide d'un modèle de climat, les conditions de température et de précipitation sur la région de Meuse Haute-Marne au cours des prochaines centaines de milliers d'années, il est nécessaire de prendre en compte simultanément les variations des paramètres astronomiques et celles de la concentration atmosphérique de CO_2 déduites d'un scénario d'évolution des activités humaines.

Compte tenu des incertitudes sur le comportement des sociétés humaines et leur capacité à poursuivre leur développement en réduisant les émissions de CO_2, deux scénarios enveloppes ont été pris en compte par l'Andra pour simuler les climats futurs : le premier prend en compte l'évolution naturelle du climat imposée par les paramètres astronomiques, en prenant comme

point de départ la concentration en CO_2 actuelle due aux activités humaines depuis 1850 et un modèle simple de cycle du carbone ; le second est un scénario extrême intégrant l'impact des paramètres astronomiques et le cycle du carbone en supposant que les activités humaines conduisent à brûler toutes les réserves de charbon et d'hydrocarbures fossiles en 325 ans.

Le scénario d'évolution naturelle est basé sur les oscillations climatiques dits *cycles de Milanković*. Ces oscillations sont toutefois influencées par la concentration initiale élevée en CO_2 qui assure un climat tempéré sur la Meuse Haute-Marne pendant 50 000 ans. Les oscillations climatiques qui suivent sont similaires à celles connues dans le passé de sorte que, dans ce scénario, le climat une fois passés les premiers 50 000 ans est en moyenne plus froid qu'aujourd'hui, les périodes tempérées étant suivies de conditions de type boréal ou périglaciaire.

Le scénario extrême d'évolution climatique perturbée par les activités humaines montre une évolution du climat actuel sur la France, passant progressivement des conditions tempérées actuelles à une période beaucoup plus chaude et plus humide au cours du prochain millénaire. Celle-ci ne sera suivie que d'un lent retour aux cycles naturels avec des périodes froides qui ne deviendraient comparables à celles de l'ère quaternaire qu'au-delà de 500 000 ans.

> *La Commission reconnaît la pertinence de la méthodologie adoptée par l'Andra pour l'évaluation et la prise en compte de l'impact des variations climatiques, qu'elles soient à court ou à long terme, sur le projet Cigéo. Cette approche s'appuie sur la simulation de deux scénarios d'évolution du climat, permettant ainsi de couvrir l'ensemble de la gamme des conditions climatiques susceptibles d'affecter la région de Meuse Haute-Marne au cours du prochain million d'années.*

Les résultats issus des modèles développés sur la base de ces scénarios apportent un cadre permettant d'anticiper les conséquences des évolutions du cycle hydrologique, de l'érosion des couches superficielles du territoire concerné, ainsi que du développement potentiel d'un pergélisol. L'enveloppe obtenue à travers cette modélisation offre ainsi une vision globale des enjeux environnementaux à très long terme auxquels Cigéo sera confronté.

4.11 Modélisation et outils intégrateurs

Comme le montrent les sections précédentes, l'Andra a accordé beaucoup d'importance à la définition et à la quantification des processus à différentes échelles spatio-temporelles intervenant dans les transferts des radionucléides et des toxiques chimiques depuis les colis de déchets jusqu'à la biosphère. Cette démarche constitue le référentiel scientifique de la démonstration de sûreté après fermeture du stockage.

Les mécanismes physiques impliqués sont nombreux et souvent couplés (*cf.* section 4.7). Leur compréhension finale passe par la modélisation des processus, c'est-à-dire par des outils de prédiction quantitative des grandeurs représentatives des phénomènes. Ces outils sont basés sur des lois validées par l'expérience, exprimées par des relations mathématiques formant des systèmes d'équations souvent non linéaires dont la résolution est le plus souvent numérique. L'intérêt de tels outils est d'être théoriquement universels puisqu'ils sont fondés sur les lois de la physique et qu'ils peuvent donc bénéficier à la fois des connaissances et des validations au niveau international.

La collaboration internationale s'exprime à plusieurs échelons :

- par la mise en commun de dispositifs expérimentaux et de laboratoires (notamment de laboratoires souterrains) ; l'objectif de recherche concerne alors l'identification des mécanismes pertinents et les moyens de les modéliser ;
- par le développement et la mise à disposition de bases de données ; l'objectif est de fournir les valeurs des paramètres. Ce type de collaboration est particulièrement pertinent en chimie où les paramètres sont très nombreux et souvent universels ;
- par la réalisation d'exercices d'intercomparaison de l'interprétation de résultats expérimentaux ; on teste alors la qualité de la représentation de la phénoménologie ;
- par des programmes internationaux d'intercomparaison des outils de calcul (benchmarking) ; on met alors à l'épreuve la validité des systèmes d'équations et des codes informatiques qui en font la résolution.

Cette démarche de qualité de la connaissance scientifique est arrivée à maturité, si bien que le référentiel scientifique de base fait l'objet d'un consensus international et que les outils de calcul sont largement partagés par la communauté scientifique soit de gré à gré, soit sur un mode commercial. Plusieurs codes de calcul peuvent être utilisés pour modéliser une même phénoménologie, ce qui augmente la robustesse par la redondance.

La démarche est constructive en ce qu'elle incite à la complexité croissante des modèles phénoménologiques, ce qui permet de réduire les plages d'incertitude et d'augmenter la confiance que l'on pourra accorder aux modèles simplifiés qui doivent garantir une approche enveloppe des phénomènes.

4.11.1 Expression de la complexité de la modélisation

La complexité s'exerce à plusieurs échelles. Les exemples suivants ont particulièrement retenu l'attention de la Commission au cours des auditions :

- la modélisation macroscopique de la diffusion, mécanisme essentiel du transport dans le COx, a nécessité de comprendre les phénomènes à l'échelle microscopique des structures minérales et à l'échelle du pore, espace accessible entre les minéraux, qui se manifestent différemment entre les cations et les anions. Il en a résulté la confirmation d'une loi macroscopique unique pour les différentes espèces chimiques mais avec des valeurs différentes pour le coefficient de diffusion effectif ;
- le dégagement d'hydrogène gazeux au sein du stockage pendant plusieurs centaines de milliers d'années a conduit à considérer un couplage fort entre la pression du gaz, la resaturation par l'eau des ouvrages et du COx et les contraintes mécaniques exercées sur le COx. La phénoménologie très complexe qui se déroule sur un laps de temps très long n'est évidemment pas accessible à l'expérience. Seule une modélisation fine et le couplage des modèles peut permettre de l'appréhender complètement mais au prix de calculs très lourds. Le calcul complet, réalisable un petit nombre de fois, met en évidence que la pression de gaz est un obstacle à la resaturation de l'ouvrage et se dissipe essentiellement au travers des liaisons surface-fond. Il en résulte des conclusions qui font progresser l'évaluation de la sûreté : d'une part la nécessité d'envisager des options particulières de conception des scellements (perméables au gaz mais pas à l'eau) (*cf.* section 5.7), d'autre part le fait de considérer que la resaturation

complète du stockage au moment de sa fermeture est une situation pénalisante pour la libération des radionucléides lors de l'analyse des performances ;

- l'effet thermomécanique sur le COx est une conséquence du dégagement de chaleur par les déchets HA qui engendre une perturbation thermique pendant plus d'un millier d'années. Une modélisation fine du phénomène incluant la dilatation différentielle entre l'eau et la roche met en évidence un risque de fracturation du COx au niveau de l'entraxe entre deux alvéoles HA si la température est trop élevée. Un modèle thermo-poro-visco-plastique rend bien compte dans le temps et dans l'espace des résultats en température et pression d'eau des expériences de chauffage *in situ* réalisées par l'Andra au laboratoire souterrain, mais il s'avère qu'un modèle thermo-poro-élastique plus simple conduit à des résultats enveloppe et est suffisant lorsque l'on s'éloigne de quelques mètres du corps chauffant. Cette approche permet de qualifier l'utilisation du modèle simple (poro-élastique) pour le dimensionnement thermo-mécanique dans le quartier HA : calcul de la charge thermique des alvéoles et écartement.

4.11.2 Prise en compte de la complexité et de son incertitude, vers des modèles opérationnels de sûreté

Les exemples qui précèdent montrent que la modélisation phénoménologique fine est nécessaire pour analyser avec confiance le comportement des composants du stockage en situation réelle. Elle est cependant mal adaptée pour l'analyse des performances en grand du stockage pour les raisons suivantes :

- l'analyse doit prendre en compte plusieurs scénarios conformément au guide de sûreté ;
- elle doit s'appuyer sur des simulations sur des temps très longs, typiquement le million d'années, toujours selon le guide de sûreté ;
- chaque simulation doit parfois être répétée un grand nombre de fois pour évaluer les conséquences de l'incertitude sur certains paramètres.

Pour ce faire, les codes doivent exécuter leurs calculs dans des temps raisonnables, d'où l'importance de développer des modèles de sûreté opérationnels. Ces modèles sont issus d'une simplification des modèles phénoménologiques, obtenue de plusieurs façons :

- en négligeant les mécanismes minoritaires vis-à-vis du transfert des radionucléides (par exemple, le gradient de charge hydraulique dans le COx est le moteur principal de l'écoulement devant l'osmose chimique ou la thermo-osmose) ;
- en ramenant un processus complexe à son mécanisme majorant (par exemple, l'altération des verres HA est représentée par leur vitesse initiale de dissolution V_0 (*cf.* Annexe IV.2.2), très majorante ; ou encore, aucune propriété d'étanchéité ou de confinement n'est attribuée à la matrice bitume de certains déchets MAVL, et un modèle de relâchement basé sur la solubilité des sels est considéré dès la fermeture du stockage ;
- en globalisant à une échelle macroscopique des phénomènes microscopiques aux origines multiples (par exemple, la représentation de la sorption des radionucléides sur la roche via un mécanisme linéaire et réversible (coefficient de distribution Kd, *cf.* Annexe IV.3.1) ;

- en évitant des couplages forts entre les mécanismes grâce à des options de conception du stockage (par exemple, les conséquences de l'augmentation de pression d'hydrogène sont supprimées avec des scellements perméables au gaz, le dimensionnement de la charge thermique des quartiers HA est contraint de façon à éviter la fracturation du COx) ;
- en supprimant des couplages par des hypothèses conservatives sur leur chronologie (par exemple, le fait de considérer que le stockage est complètement resaturé en eau au temps « zéro » de l'analyse de sûreté évite de traiter la libération des radionucléides dans les alvéoles en conditions désaturées qui est très difficile à modéliser ;
- en simplifiant la géométrie des composants aux échelles pertinentes (par exemples, la représentation du COx par un milieu unique, le regroupement en un milieu poreux équivalent des objets composants de l'interface entre le COx et le noyau argileux des scellements).

Pour chacune des actions précédentes, il est essentiel de pouvoir montrer le caractère majorant des résultats de modélisation par rapport à ceux d'une modélisation phénoménologique fine pour tous les cas qui seront simulés. Cela est obtenu par l'enchaînement des modèles opérationnels qui doivent chacun être majorants.

Les conséquences du passage des modèles phénoménologiques aux modèles opérationnels est un risque que l'évaluation des performances soit par trop pessimiste vis-à-vis des objectifs de sûreté recherchés. Si c'était le cas, il conviendrait de réduire les conservatismes en raffinant certains modèles opérationnels trop simplistes.

La Commission souscrit à la démarche de modélisation de l'Andra basée sur des simplifications nécessaires pour que les calculs soient réalisables. Ces simplifications sont justifiées par les hypothèses conservatives adoptées. Cette approche majorante n'interdit pas de réduire ultérieurement le conservatisme en modélisant plus finement certains mécanismes physiques. Cela ne changerait pas les conclusions de l'évaluation de sûreté mais pourrait permettre de réduire certaines marges couvertes par des options de conception.

La Commission attire l'attention sur le fait que le modèle de sûreté est conçu pour décrire des situations aux conséquences majorantes destinées à l'évaluation par l'Autorité de sûreté. Avec son accumulation de conservatismes, il est conçu pour donner une valeur assurément majorée des impacts sur l'homme et l'environnement.

5 Rôle des composants pour répondre aux exigences de sûreté et à l'exigence de récupérabilité

5.1 Introduction, choix des éléments étudiés

L'architecture du système de stockage est conçue de façon à mettre en place les structures, systèmes et composants (SSC), destinés à assurer les fonctions de sûreté.

L'Andra assigne au système de stockage deux fonctions de sûreté fondamentales, comme indiqué à la section 2.1, rappelées ici :

- « isoler les déchets des phénomènes de surface et des actions humaines banales » ;
- « limiter le transfert des radionucléides et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets jusqu'à la biosphère ».

La deuxième fonction se décline à son tour en trois sous-fonctions :

- « s'opposer à la circulation d'eau » ;
- « limiter le relâchement des radionucléides et des substances toxiques chimiques, et les immobiliser dans les alvéoles de stockage » ;
- « retarder et atténuer la migration des radionucléides et des substances toxiques chimiques qui auraient été relâchés hors des colis puis des alvéoles de stockage ».

En complément de ces trois sous-fonctions habituellement mentionnées, la « préservation des caractéristiques favorables des argilites de la couche du Callovo-Oxfordien et des composants ouvragés contribuant à la sûreté après fermeture » tout au long de la construction, de l'exploitation et de la fermeture du stockage constitue une quatrième sous-fonction.

L'exigence de récupérabilité, sur une période qui ne peut être inférieure à cent ans, induit quant à elle des contraintes au niveau du maintien de la géométrie des structures et de la durabilité des matériaux.

L'application de ces principes conduit à une architecture de stockage dont les SSC sont conçus pour être complémentaires et fonctionner en combinaison, de façon à ce qu'une fonction de sûreté ne dépende pas d'un seul élément. La contribution de chaque SSC aux fonctions de sûreté doit donc être identifiée, explicitée et doit reposer sur des bases scientifiques et technologiques éprouvées en tenant compte des incertitudes. La période à laquelle ils produisent leurs effets doit être clairement indiquée.

Les SSC comprennent les déchets, la barrière ouvragée et la roche hôte. Selon la fonction de sûreté à remplir, un SSC peut avoir un rôle majeur ou secondaire. Un SSC peut intervenir dans plusieurs fonctions de sûreté à des moments différents et avec une importance différente. La robustesse de l'architecture mise en place est vérifiée en confrontant les SSC aux phénomènes et processus attendus tout au long du fonctionnement du stockage. Ces phénomènes et processus ont été validés au niveau international dans le cadre de l'AEN/OCDE : International Features, Events and Processes (IFEP) List for the Deep Geological Disposal of Radioactive Waste.

Les aquifères encaissants ne font pas partie des SSC, ils n'assurent pas de fonction de sûreté. Ils exercent un rôle lors de l'apparition d'un flux de radionucléides au toit du COx, c'est-à-dire à la sortie du système de stockage. S'ils ne remplissent pas de fonction de sûreté, ils sont cependant intégrés dans les différents modèles de biosphère et jouent un rôle dans la détermination et le fonctionnement des exutoires. Ils peuvent, par leur capacité de dilution et de dispersion, contribuer à la diminution de l'impact radiologique et chimique du stockage dans la mesure où la pérennité de cette capacité est démontrée dans le temps. L'architecture du stockage en est indépendante.

L'Andra a décliné les composants du stockage suivant une logique de fonction de sûreté, de la façon suivante :

- Fonction de sûreté fondamentale : isoler
  - Absence de ressources naturelles
  - Profondeur d'implantation
  - Mémoire de l'existence du stockage

- Fonction de sûreté fondamentale : limiter le transfert
  - Sous-fonction : s'opposer à la circulation d'eau :
    - Conteneurs
    - Callovo-Oxfordien (COx)
    - Architecture borgne
    - Regroupement puits-descenderie
    - Scellements des alvéoles et liaisons surface-fond
  - Sous-fonction : limiter le relâchement des radionucléides :
    - Conteneur
    - Alvéoles (matériaux, conditions chimiques)
  - Sous-fonction : retarder-atténuer la migration :
    - Géométrie et espacement des alvéoles
    - Épaisseur de la garde de Callovo-Oxfordien sain
  - Sous-fonction : préserver les caractéristiques du COx :
    - Dimensionnement thermique
    - Couplage thermo-hydro-mécanique (THM)
    - Orientation des alvéoles
    - Sismicité faible
    - Choix des matériaux
    - Limitation des vides
    - Évitement du co-stockage
    - Scellements passants au gaz.

Le schéma présenté sur la Figure 2 illustre la mise en place des SSC et leur fonctionnement en redondance au cours du temps. Il explicite le rôle des différents éléments du concept dans la réalisation des fonctions de sûreté.

Conformément à ce schéma, la Commission a choisi d'analyser comment l'Andra s'est emparée des SSC pour réaliser l'évaluation des fonctions de sûreté et de la récupérabilité. Après l'architecture générale du stockage, le chapitre est organisé en examinant la quantification du

comportement et de l'évolution de composantes emboîtées, depuis le terme source initial (conteneur dans son alvéole) jusqu'au niveau du transfert en grand vers les exutoires.

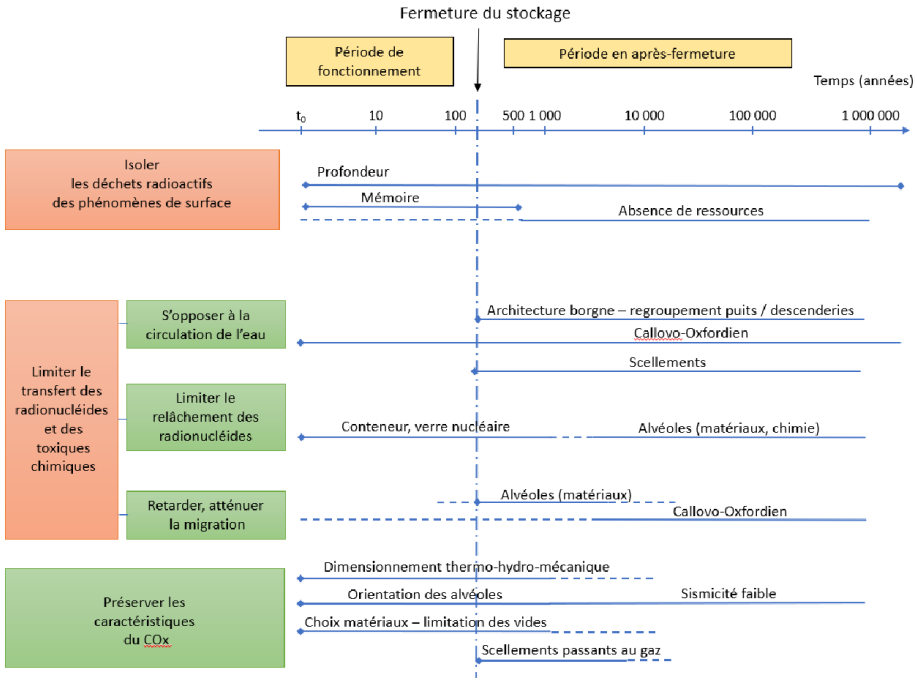


Figure 2 : schéma d'organisation des fonctions de sûreté pour la partie souterraine de Cigéo.

5.2 Choix d'architecture

L'Andra a fait le choix d'une architecture souterraine de Cigéo qui répond à la fois à des fonctions de sûreté en exploitation et sur le long terme après la fermeture du stockage. La solution d'architecture retenue comprend deux descenderies qui rejoignent, à environ 500 m de profondeur dans la couche hôte, une zone de « soutien logistique exploitation » par laquelle transitent les colis de déchets, et cinq puits verticaux reliés à une zone de « soutien logistique travaux » par laquelle transitent les équipements et matériaux pour la construction. Ces zones permettent d'accéder à deux grands quartiers de stockage des déchets : sur la partie nord, un quartier de stockage des déchets HA, intégrant le quartier pilote HA chargé d'accueillir un démonstrateur de scellement et les premiers colis de déchets HA lors de la Phipil, (*cf.* section 6.1) et sur la partie sud un quartier de stockage des déchets MAVL. Au fond, les liaisons surface-fond (LSF), *i.e.* puits et descenderies, sont ainsi regroupées dans une zone d'emprise restreinte. La construction est prévue par phases successives, conformément au caractère progressif et adaptatif de l'ouvrage (*cf.* section 6.2).

Les fonctions majeures déclinées par l'Andra en lien avec l'architecture du stockage Cigéo concernent la sûreté à long terme et la réversibilité, et sont :

- conserver les propriétés de confinement du COx ;
- limiter les circulations d'eau pour atténuer et retarder la migration des radionucléides ;
- assurer la réversibilité du stockage.

5.2.1 Conserver les propriétés de confinement du COx

Les quartiers HA et MAVL sont implantés à environ 500 m de profondeur dans la partie médiane du COx. Cette architecture est globalement plane, tout en suivant le faible pendage de la formation. Elle est choisie de manière à préserver une épaisseur de garde argileuse d'au moins 50 m de part et d'autre des alvéoles. Elle permet d'isoler les déchets et les composants du stockage des activités humaines et des perturbations de surface liées au climat, parmi lesquelles l'érosion (*cf.* 4.3.5). Par ailleurs, l'exigence de conception consiste à limiter les vides au sein de l'installation souterraine pour limiter l'extension de la zone endommagée du COx sur le long terme. L'architecture de chaque quartier de stockage HA et MAVL se développe, pour cela, sur un seul niveau.

L'Andra s'appuie sur la géométrie du COx pour établir le plan de masse des installations qui pourra éventuellement évoluer dans les détails lorsque les incertitudes résiduelles (position plus précise du toit, épaisseur de la couche) seront affinées lors de l'accès à la couche géologique.

L'Andra a pu vérifier à l'aide de ses mesures et modèles géométriques que l'implantation du stockage (en tenant compte des zones de COx endommagées par la construction de l'ouvrage) permet de conserver une garde de COx sain supérieure ou égale à 50 m au-dessus et en-dessous du stockage. Les incertitudes résiduelles sur la géométrie (liées au calage du modèle de vitesse de l'imagerie sismique) ne remettent pas en cause l'épaisseur requise du COx pour un stockage ; le positionnement exact des ouvrages au centre de la couche pourra être affiné grâce aux mesures acquises lors du creusement.

5.2.2 Limiter les circulations d'eau pour atténuer et retarder la migration des radionucléides

L'architecture du stockage et la configuration borgne des quartiers de stockage HA et MAVL permettent de limiter les circulations d'eau souterraines dans le stockage en minimisant le gradient hydraulique entre les extrémités des alvéoles. Le regroupement au fond du débouché des LSF limite également la création de gradients hydrauliques au sein de l'ouvrage.

La mise en place de noyaux de scellement dans les galeries de liaison après retrait des voussoirs et dans les LSF vise à sceller les voies de transfert entre les quartiers de stockage et la surface. Elle complète le rôle de l'architecture borgne en limitant encore les flux et les vitesses d'eau circulant au sein de l'ouvrage puis *via* les LSF entre la surface, les aquifères sus-jacents et le stockage.

Les données sur les propriétés des composants du stockage (cf. sections 4.3, 4.4 et 4.6) et les outils de modélisation développés et qualifiés (cf. section 4.11) permettent à l'Andra de quantifier les flux à travers les ouvrages et le COx.

Les modélisations qui prennent en compte ces données confirment quantitativement le comportement attendu : la conception permet de limiter après fermeture les transferts via les galeries et à travers les liaisons surface-fond (cf. section 5.7). Ces transferts restent inférieurs à ceux, eux-mêmes très faibles, qui auront lieu par diffusion des alvéoles vers le COx. De ce fait, la présence des scellements ne remet pas en cause les propriétés particulièrement favorables du COx en termes de capacité de rétention et de vitesses de transfert très faibles.

5.2.3 Assurer la réversibilité du stockage

La réversibilité implique le déploiement progressif de la construction, la flexibilité de l'exploitation, l'adaptabilité des installations et la récupérabilité des colis stockés.

À ce titre, l'Andra prévoit le déploiement progressif de l'architecture souterraine au cours de la Phipil (*cf.* section 6.1). Il débutera par la construction et l'exploitation du quartier pilote HA et de quatre alvéoles du quartier de stockage MAVL. Il comprendra des démonstrateurs d'alvéoles pour tester les conditions d'exploitation et de fermeture, et des alvéoles témoins.

L'exigence de récupérabilité implique que le stockage doit être construit pour rendre possible les options de retrait des colis stockés. L'Andra prévoit de maintenir en conditions opérationnelles l'ouvrage souterrain pendant la durée retenue pour la réversibilité d'au moins cent ans. Cela implique en particulier de démontrer que les liaisons surface-fond et les galeries associées seront disponibles pendant au moins la durée de l'exploitation (*cf.* 5.3.3).

Concernant l'adaptabilité, l'Andra a vérifié la disponibilité de réserves de surface et volume dans la ZIRA pour éventuellement accepter les colis identifiés dans l'inventaire de réserve. Cependant, l'Andra ne donne pas d'éléments sur la qualification du stockage pour l'inventaire de réserve, ce qui est conforme aux exigences du dossier de DAC à ce stade du projet, qui ne concerne que l'inventaire de référence.

5.3 Alvéoles HA

L'Andra divise l'installation souterraine pour les déchets HA en deux zones : le quartier pilote HA et le quartier de stockage HA, qui sont tous deux perpendiculaires à la galerie d'accès qui les dessert. Les alvéoles HA du quartier pilote sont destinés à accueillir des colis de déchets vitrifiés faiblement exothermiques. Les alvéoles du quartier de stockage recevront les colis HA fortement exothermiques.

Le quartier pilote HA contiendra 22 alvéoles : 18 actifs, 3 inactifs utilisés comme des alvéoles témoin de la déformation du chemisage et de la corrosion des aciers des colis et du chemisage, et un démonstrateur de fermeture. Le quartier pilote HA sera intégré à la première tranche d'exploitation, et aura aussi pour objet la qualification de la constructibilité des alvéoles HA, de la récupérabilité des colis et du déploiement des moyens de surveillance.

Le quartier de stockage HA, dont la mise en service n'est prévue que vers 2080, se répartira suivant 4 sous-quartiers centrés sur 4 galeries d'accès et se composera d'environ 1 000 alvéoles.

Les fonctions majeures assurées par l'architecture du quartier et des alvéoles HA sont les suivantes :

- préserver les caractéristiques du COx ;
- limiter le relâchement des radionucléides, atténuer et retarder leur migration ;
- permettre la récupérabilité des colis HA.

5.3.1 Préserver les propriétés du COx

Tous les alvéoles sont creusés sur un seul niveau horizontal avec un pendage légèrement ascendant pour permettre un drainage éventuel, et sont orientés N155°E suivant la direction de la contrainte principale horizontale majeure (*cf.* 4.4.8).

Les alvéoles du quartier pilote sont organisés suivant une géométrie en peigne perpendiculairement à leur galerie d'accès alors que ceux du quartier de stockage sont organisés suivant une géométrie en râteau par rapport à l'une des 4 galeries d'accès prévues. Le diamètre de creusement est d'environ 80 cm et la longueur est de 80 m pour les alvéoles du quartier pilote et de 150 m minimum pour les alvéoles du quartier de stockage, soit un rapport longueur/diamètre très élevé.

Ces dispositions constructives visent à :

- assurer une épaisseur de garde du COx suffisante de part et d'autre des alvéoles ;
- limiter l'endommagement autour de l'alvéole (qui est proportionnel au diamètre de creusement) ;
- limiter l'endommagement vertical (écaillage, chute de blocs) en lien avec l'état de contraintes de la formation et préserver ainsi l'épaisseur de garde saine du COx.

La Commission estime que les choix de géométrie pour les alvéoles HA (direction parallèle à la contrainte horizontale majeure, petit diamètre) sont de nature à limiter l'extension de l'endommagement autour de l'alvéole (de l'ordre mètrique) et donc préserver les propriétés du COx. Les impacts du creusement des alvéoles sur le COx ont été qualifiés au laboratoire souterrain ; il est prévu de vérifier la transposabilité de ce comportement dans la ZIRA lors de la Phipil.

La répartition des colis au sein d'un alvéole et l'espacement des alvéoles du quartier HA entre elles (entraxe d'environ 50 m) sont dimensionnés pour limiter la densité de chargement afin de garantir le respect des critères de température et de contrainte mécanique. Le critère thermique considérant une température maximale de 90°C au contact du COx vise à éviter les transformations de phase (notamment ébullition de l'eau à 100°C) qui pourrait générer des perturbations hydraulique/gaz. Les critères mécaniques et thermiques visent à assurer que l'évolution des contraintes, liée aux comportements couplés thermo-hydro-mécaniques (THM) de la roche et des fluides, ne conduise pas à des ruptures en traction ou en cisaillement du COx. Ce phénomène est maximal à l'entraxe entre deux alvéoles pour des raisons de symétrie. Sa modélisation est facilitée par la grande longueur des alvéoles par rapport à leur diamètre qui autorise une approche bidimensionnelle. En se basant sur des expérimentations *in situ*, l'Andra a choisi d'utiliser une loi de comportement simplifiée poro-élastique pour modéliser les processus THM et dimensionner la distance entre alvéoles, afin de ne jamais atteindre le risque de fracturation suite à une rupture en traction.

Ces dispositions visent à limiter les perturbations thermiques ou hydraulique/gaz liées à l'augmentation de température pouvant engendrer des transformations minéralogiques, mécaniques et géochimiques du COx.

L'Andra a réalisé la modélisation géomécanique de l'endommagement du COx au voisinage des alvéoles suivant différentes hypothèses (géométrie 2D, 3D), en s'appuyant sur des expériences au laboratoire souterrain.

Le modèle thermo-poro-visco-plastique développé rend bien compte des expériences en champ proche. L'Andra a utilisé un modèle simplifié thermo-poro-élastique, moins coûteux en temps de calcul, qui donne des résultats enveloppes quand on s'éloigne de quelques mètres du corps chauffant.

La Commission considère que l'approche simplifiée qui a été utilisée par l'Andra pour le dimensionnement des quartiers HA est effectivement qualifiée.

5.3.2 Limiter le relâchement des radionucléides, atténuer et retarder leur migration

Les alvéoles sont des tunnels borgnes (i.e., avec un seul orifice d'entrée/sortie), avec un rapport longueur/diamètre élevé. Ils sont creusés suivant une légère pente ascendante (+2% environ). Cette disposition de conception permet de :

- drainer les eaux issues du COx vers les galeries d'accès lors de la phase d'exploitation afin de limiter les phénomènes de corrosion ;
- favoriser la surface de contact avec le COx, ce qui privilégie le transfert diffusif *via* le COx par rapport au flux qui pourrait parvenir aux galeries *via* la tête d'alvéole.

Le matériau de remplissage de type coulis cimentaire (MREA) injecté dans l'espace annulaire en extrados du chemisage et le bouchon de fermeture à gonflement d'argile différé mis en place en tête d'alvéole ont pour fonction de :

- protéger le chemisage de la corrosion ;
- limiter les perturbations chimiques à l'interface avec la galerie ou avec le COx ;
- limiter l'arrivée et la circulation d'oxygène dans l'alvéole depuis la galerie.

Cette conception vise à maintenir à l'interface avec le COx des propriétés physico-chimiques favorables à la conservation des propriétés de confinement du COx. En particulier le MREA doit neutraliser le transitoire à bas pH lié à l'oxydation des pyrites, susceptible d'aggraver la corrosion des aciers des chemisages (*cf.* 4.7.1 et 4.7.2).

Un matériau de remplissage de type coulis cimentaire (MREA) est injecté dans l'espace annulaire en extrados du chemisage La formulation du MREA est encore en cours d'affinement.

La Commission considère que l'Andra a démontré qu'il existe des matériaux MREA qui répondent aux exigences de conception. Leur formulation devra être précisée.

5.3.3 Assurer la récupérabilité des colis HA

Un chemisage en acier bas carbone de diamètre 66-76 cm et de 25 mm d'épaisseur est mis en place dans les alvéoles HA. Ce chemisage a pour rôle de soutenir mécaniquement l'alvéole en le protégeant de l'effet de la convergence mécanique du COx pendant une durée séculaire. Le taux de vide entre le chemisage et les colis de stockage est minimisé pour restreindre la déformation en champ proche tout en préservant la récupérabilité des colis. La nuance (caractéristique exprimée par les propriétés mécaniques et chimiques) de l'acier a été établie pour satisfaire à un comportement à la corrosion homogène et bien défini (*cf.* 4.5.2). La modélisation du comportement thermo-mécano-chimique du chemisage montre que sa déformation est suffisamment faible pour garantir la persistance d'un jeu suffisant pour le retrait des colis tout au long de la période de récupérabilité.

La procédure de mise en place du chemisage et la vérification de sa tenue mécanique ont fait l'objet d'expérimentations au laboratoire souterrain et un prototype de robot destiné à retirer les colis HA a été testé en laboratoire. Il est prévu d'expérimenter les équipements et procédures de récupération de colis au cours de la Phipil.

La tête d'alvéole contient le dock d'accostage et les dispositifs d'obturation. Une bride d'exploitation étanche est placée sur la façade d'accostage pour isoler l'alvéole de la galerie au moment du dépôt des colis et des intercalaires. Son rôle est de limiter la pénétration de l'oxygène dans l'alvéole. Les équipements d'obturation intègrent des liaisons avec les dispositifs de surveillance de l'atmosphère ambiante (température, présence d'eau, composition). L'Andra prévoit la possibilité d'évacuer l'eau, ainsi que d'effectuer un balayage à l'azote de l'atmosphère de l'alvéole, en fonction de l'analyse de sa composition (O_2, H_2), afin de maintenir des teneurs en O_2 suffisamment faibles pour exclure le risque ATEX. Ce dispositif peut en particulier être actionné avant ouverture de l'alvéole en vue de la récupération des colis.

La Commission prend acte du fait que l'Andra a jugé nécessaire à ce stade des études, d'intégrer un dispositif actif (surveillance et balayage à l'azote) pour les alvéoles HA afin de gérer le risque ATEX en exploitation, en particulier au moment d'une éventuelle récupération de colis.

La Commission recommande de poursuivre les études sur la production d'hydrogène dans les alvéoles HA en conditions d'exploitation en vue d'optimiser la maîtrise du risque de formation d'une atmosphère explosive.

Le remplissage de l'alvéole se termine par l'introduction de quatre conteneurs en tôle mince remplis d'argile gonflante compactée. Après fermeture, lorsque la corrosion de la tôle mince sacrificielle permettra l'entrée de l'eau dans ces conteneurs, le gonflement de l'argile assurera l'étanchéité de l'alvéole.

La Commission note que le risque ATEX est totalement évacué en après-fermeture, en raison de la disparition rapide de l'oxygène dans les galeries d'accès peu après l'arrêt de la ventilation.

5.4 Alvéoles MAVL

Les colis de déchets de moyenne activité à vie longue sont destinés à être stockés dans les alvéoles du quartier MAVL, perpendiculaires à la galerie de liaison. Ces alvéoles sont conçus pour l'entreposage de deux types de colis : des colis en conteneur de stockage et des colis primaires stockés directement ou en panier. Pour diminuer le volume de stockage (et ainsi réduire l'emprise dans la formation géologique et économiser des matériaux de construction) mais aussi limiter les vides résiduels entre les conteneurs, les colis sont empilés selon leur géométrie sur une à trois nappes en hauteur et sur une à trois files en largeur. Seule exception, les colis primaires de grande dimension (CS6) en conteneur métallique sont répartis une seule nappe. Le regroupement des colis par familles de déchets est guidée par la compatibilité physico-chimique des déchets qu'ils contiennent, leur puissance thermique, leur géométrie et leur chronologie d'arrivée.

Les alvéoles MAVL sont de type tunnel circulaire, de 500 m de longueur utile et d'un diamètre de 8 m. Pour l'architecture des alvéoles du quartier MAVL, le caractère borgne n'a pas été retenu pour permettre la ventilation en continu pendant l'exploitation.

Ces alvéoles sont creusés mécaniquement par un tunnelier puis soutenus par des voussoirs en béton préfabriqués. Un matériau compressible est intégré à l'extrados du voussoir au contact de l'argilite du COx (*cf.* Annexe III.6). Un radier en béton est ensuite coulé en partie basse. Pour ajuster la géométrie de la chambre de stockage de l'alvéole à l'empilage des colis, des éléments de remplissage en béton forment une section rectangulaire.

À la fermeture de l'alvéole, la galerie d'accès sera comblée par des remblais après démantèlement des équipements et des cellules de manutention ; les gaines techniques seront injectées de coulis cimentaire.

Les fonctions majeures assurées par l'architecture du quartier et le choix de conception des alvéoles MAVL sont les suivantes :

- préserver les propriétés du COx en limitant les perturbations mécaniques et chimiques induites au voisinage dans la roche ;
- limiter le relâchement des radionucléides et des substances toxiques chimiques, et les immobiliser dans les alvéoles de stockage en fournissant un environnement alcalin favorable à l'insolubilisation ou à la rétention de certains radionucléides ;
- retarder et atténuer la migration des radionucléides et des substances toxiques chimiques qui auront été relâchés des alvéoles de stockage, en préservant une épaisseur d'argilite au-dessus et en dessous de l'alvéole qui constitue une barrière de diffusion.

5.4.1 Préserver les propriétés du COx

Les alvéoles MAVL et leurs galeries d'accès sont situés en partie médiane de la couche du Callovo-Oxfordien et orientés selon la contrainte horizontale principale majeure. Cette implantation a pour objectif de garantir une garde argileuse saine minimale de 50 m au-dessus et en dessous de l'ouvrage.

L'orientation suivant la contrainte principale horizontale majeure (N155°E) réduit la propagation en champ proche de la zone fracturée (connectée et non-connectée) au-dessus et

en dessous de l'excavation, tant lors du creusement de l'alvéole que sur le très long terme après la perte d'intégrité des revêtements (*cf.* 4.4.8). Il a été démontré que la zone du COx affectée par le creusement est inférieure à 0,9 fois le rayon du tunnel excavé.

Du point de vue de la tenue mécanique, comme décrit précédemment, le comportement du COx se caractérise après excavation par une phase de convergence rapide qui induit des efforts sur les voussoirs, maîtrisée par l'utilisation de matériaux compressibles. La tenue des soutènements préserve de l'effondrement de la roche.

D'un point de vue chimique, pendant la phase d'exploitation, le COx et les matériaux cimentaires peuvent interagir (*cf.* 4.7.1). La présence d'oxygène a pour conséquence une oxydation des pyrites du COx en champ proche. L'extension de cette perturbation du COx a été évaluée à moins d'un mètre.

La Commission estime que l'Andra a démontré que la conception des alvéoles et l'ajustement de la composition des bétons permettent de limiter les perturbations mécaniques du COx à l'interface avec les structures.

Après construction et au cours de la période d'exploitation, l'extension et les caractéristiques hydro-mécaniques de la zone endommagée du COx sont surveillées afin de vérifier que le comportement reste conforme aux calculs réalisés pour l'évaluation de sûreté.

Concernant la période post-fermeture, deux dispositions minimisent l'endommagement par foisonnement du COx lors de la ruine des ouvrages à très long terme. D'une part, l'utilisation de matériaux compressibles en extrados des voussoirs retarde la perte d'intégrité des ouvrages. D'autre part, les vides résiduels sont réduits dans les alvéoles et les galeries d'accès sont remblayées. Ces dispositions contribuent à maîtriser l'évolution mécanique à long terme en limitant l'extension de la zone endommagée.

La Commission estime que les dispositions constructives retenues par l'Andra sont de nature à retarder la ruine des alvéoles de plusieurs centaines d'années après la fermeture. Les calculs mécaniques, soutenus par des modélisations numériques, montrent que l'extension de la zone endommagée dans le COx résultant de la ruine est inférieure au rayon de l'ouvrage, soit de l'ordre de la dizaine de mètres au maximum, ce qui préserve l'épaisseur de garde du COx requise.

5.4.2 Limiter le relâchement des radionucléides, atténuer et retarder leur migration

La composition chimique des matériaux cimentaires (béton de revêtement, de colisage et de remplissage) permet le confinement des radionucléides des déchets MAVL. L'alcalinité de l'eau porale diminue la solubilité d'une grande majorité des substances radioactives et toxiques chimiques, notamment des actinides. Les phases de silicates de calcium hydratés participent à l'immobilisation des radionucléides grâce à leurs capacités de sorption.

L'intégrité mécanique des colis MAVL est préservée par la présence d'un revêtement durable des alvéoles, et par la minimisation des vides résiduels. Pendant la phase d'exploitation, la régulation hygrothermique des alvéoles et leur ventilation préservent les bétons de la dégradation, c'est-à-dire de la modification minéralogique de leurs phases hydratées et de leur fissuration.

D'un point de vue chimique, le COx et les matériaux cimentaires peuvent interagir (*cf.* 4.6.1). Le caractère alcalin des bétons peut augmenter le pH et modifier la composition de l'eau porale du COx via un apport en ions carbonates et sulfates. L'oxydation des pyrites du COx en champ proche en présence d'oxygène se traduit également par une augmentation de la concentration en sulfates. Il a été démontré que les propriétés de rétention et de transfert (caractérisé par la perméabilité et la diffusivité) des radionucléides par le COx n'étaient pas modifiées par l'oxydation des pyrites en milieu alcalin. En particulier, le comportement des actinides reste dominé par les phénomènes d'hydrolyse donnant des espèces fortement retenues sur les argiles. Pour préserver les caractéristiques favorables du COx, la composition des matériaux cimentaires est sélectionnée pour limiter les perturbations chimiques.

La Commission estime que l'Andra a démontré que la conception des alvéoles et l'ajustement de la composition des bétons permettent de limiter les perturbations chimiques du COx à l'interface avec les structures.

La Commission estime que la connaissance des processus chimiques, l'existence de bases de données thermodynamiques internationales, et les codes qualifiés permettent de quantifier la migration des radionucléides de l'alvéole vers le COx. Ces résultats sont intégrés dans les calculs à diverses échelles et participent au calcul de sûreté.

5.4.3 Assurer la récupérabilité des colis MAVL

La conception des alvéoles MAVL garantit également la récupérabilité des colis pendant la durée séculaire prévue de la phase d'exploitation. La manutention en cas de récupération de colis est facilitée par :

- le jeu prévu entre les colis ;
- la géométrie de l'empilement des colis (forme parallélépipédique) dans l'alvéole de stockage.

Les dispositifs et procédures de récupération des colis, y compris en cas d'anomalie de gerbage, feront l'objet de tests de qualification pendant la Phipil.

La condition essentielle pour la récupérabilité est que les alvéoles conservent leur stabilité mécanique pendant toute la durée d'exploitation. Les dispositions constructives ont été choisies pour atteindre cet objectif.

Comme évoqué au paragraphe 4.4.8, après creusement le comportement thermo-hydro-mécanique du COx induit, en réponse à la convergence, des efforts sur le revêtement et les structures du génie civil de l'alvéole. Le comportement différé du COx, de type fluage, entraîne un chargement mécanique des voussoirs. L'Andra a mis au point un concept de voussoirs compressibles pour différer les effets de ces phénomènes de convergence.

Il s'agit d'un dispositif constitué d'un matériau compressible placé derrière le béton du voussoir ou intégré au voussoir. Le matériau compressible absorbe l'essentiel de la convergence initiale en se déformant et réduit la contrainte appliquée à la couche de béton du voussoir.

Pour qualifier ce concept, l'Andra a caractérisé le comportement mécanique de matériaux bi-couche (matériau compressible/béton) en laboratoire, a mené des essais à grande échelle

(échelle ¾) au laboratoire souterrain, et a finalement modélisé leur comportement à long terme sur la base des données obtenues.

Les modélisations numériques sont basées sur un modèle poro-élasto-visco-plastique avec écrouissage (*cf.* Annexe III.6). Les calculs montrent ainsi qu'une épaisseur de 20 cm de matériau compressible avec une fin de palier plastique à 50 % de déformation associée à des voussoirs de 50 cm de béton armé de classe C60/75 permettent d'assurer la tenue mécanique de la structure de l'alvéole. À la fin de la période séculaire, les contraintes en compression dans le revêtement atteignent 25 à 30 MPa, valeurs inférieures à la résistance de 36 MPa correspondant à l'état ultime de service pour laquelle le soutènement est dimensionné. Un écrasement maximal de 25 % du matériau compressible en résulte. Selon ces hypothèses, la rupture du revêtement commence à partir de 500 ans.

Les simulations numériques ont confirmé l'intérêt de ce concept et déterminé les caractéristiques nécessaires de ce matériau compressible pour assurer la fonction visée. À ce jour, plusieurs formulations de matériaux compressibles ont été testées.

> *La démarche de conception de l'alvéole MAVL s'appuie sur la connaissance fine du comportement mécanique de la roche associée à un fort retour d'expérience au laboratoire souterrain. La Commission observe que la proposition de voussoirs composites compressibles (annulaires en béton avec couche compressible en extrados) permet de fortement réduire la contrainte résiduelle que doivent supporter les soutènements. Plusieurs formulations de matériaux compressibles sont à l'étude, avec des expériences à l'échelle 1 en laboratoire pour une étude paramétrique, et sur des alvéoles à l'échelle 3/4 au laboratoire souterrain pour une étude* in situ.

> *La Commission estime que l'Andra a validé son concept innovant de voussoirs compressibles. Il reste à l'Andra à finaliser le choix de la composition du matériau compressible et à en qualifier le comportement.*

Pendant la phase d'exploitation, les bétons sont aussi soumis à la carbonatation atmosphérique. Cependant, il a été démontré que l'épaisseur de carbonatation dans les conditions hygrothermiques maitrisées par la ventilation du stockage ne dépasse pas quelques centimètres, ce qui ne compromet pas l'intégrité des structures.

5.5 Alvéoles MAVL pour le stockage des déchets bitumés

Les déchets bitumés figurant dans l'inventaire de référence de l'installation Cigéo appartiennent à la catégorie MAVL. Ils sont donc destinés à être stockés au sein du quartier MAVL dans des alvéoles construits selon les dispositions décrites ci-dessus. Toutefois, ces déchets présentent des risques spécifiques qui ont conduit l'Andra à renforcer les alvéoles qui les contiendront, en particulier pour ce qui concerne la détection et la lutte contre l'incendie.

D'une façon générale, les déchets radioactifs bitumés sont composés de boues séchées radioactives et de quantités importantes de sels solubles ou non, dispersés dans du bitume. Ces enrobés sont conditionnés en fûts en acier (FEB).

Les enrobés bitumés des FEB sont combustibles dans certaines conditions. Les FEB présentent de ce fait un risque spécifique vis-à-vis de l'incendie pendant la phase d'exploitation. Cela a

conduit l'ASN, après examen du dossier d'options de sûreté de Cigéo, à considérer que la connaissance de ces colis de déchets était insuffisante pour permettre leur stockage en l'état. L'ASN a recommandé de poursuivre l'étude de leur comportement et d'étudier en parallèle la neutralisation de leur réactivité chimique. L'ASN a également estimé que leur stockage en l'état, s'il s'avérait possible, nécessiterait des dispositions particulières de maîtrise du risque incendie dans les alvéoles qui les contiendraient. Les travaux de R&D indispensables sur ces points ne sont pas achevés au moment de la parution de la demande d'autorisation de création de Cigéo. Il n'est donc pas possible de statuer sur la possibilité de stocker en l'état les FEB.

Un programme de R&D quadripartite (CEA, EDF, Orano, Andra) nommé Babylone a été lancé en 2020 pour améliorer la connaissance des fûts d'enrobés bitumés. Il devrait permettre de disposer d'une synthèse générale sur le comportement thermique des enrobés et l'impact du gonflement des bitumes sur le COx. Les résultats sont annoncés par les acteurs pour la fin de l'année 2027. Ils permettront le choix du mode et des modalités de stockage des fûts d'enrobés bitumés, qui sera effectué postérieurement au décret d'autorisation de création de Cigéo.

5.5.1 Préserver les propriétés du COx

Les FEB présentent un risque spécifique vis-à-vis de la sûreté à long terme. En effet, la reprise d'eau du bitume après la fermeture du stockage conduit à un gonflement susceptible d'induire une mise en contrainte mécanique du COx aux parois des alvéoles, et par conséquent de développer un sur-endommagement mécanique en champ proche par rapport à la zone endommagée initiale induite par le creusement.

Les résultats sur les caractéristiques de gonflement et les simulations de leurs effets montrent une légère extension de l'endommagement dû au creusement, limitée verticalement, qui ne remet pas en cause l'épaisseur de garde saine du COx. Le volet 3 du programme Babylone sur les FEB, dont l'achèvement est actuellement prévu fin 2026, doit améliorer la connaissance afin de consolider le caractère conservatif de l'approche utilisée.

5.5.2 Modes de stockage des enrobés bitumés

Lestockage des FEB est envisagé postérieurement à la Phipil. Le choix du mode de stockage n'est donc pas nécessaire pour le décret d'autorisation de création. L'Andra retient à ce stade du dossier, compte tenu des premiers résultats des études en cours, deux modes de stockage possibles :

- un stockage des FEB en l'état (sans traitement préalable du bitume) placés dans des conteneurs de stockage en béton renforcés vis-à-vis du risque incendie et dans des alvéoles dédiés ;
- un stockage après traitement et reconditionnement visant la neutralisation de la réactivité chimique ; les FEB seraient transformés alors en déchets MAVL stockables dans des alvéoles non dédiés.

Dans son dossier de DAC, l'Andra a étudié deux options de stockage dans Cigéo (stockage en l'état dans des alvéoles MAVL renforcés vis-à-vis du risque incendie et dédiés ou

stockage de déchets issus de la neutralisation des bitumes dans des alvéoles MAVL non dédiés), qui permettront de fournir un exutoire à ces déchets quels que soient les résultats du programme Babylone.

5.6 Galeries

Les galeries n'ont pas de fonction de sûreté à long terme, en revanche elles contribuent à l'objectif de récupérabilité en garantissant l'accès aux alvéoles pendant la durée d'exploitation. Cet enjeu de stabilité des infrastructures sur cette durée concerne l'ensemble des galeries d'accès.

L'objectif de récupérabilité, au moins séculaire, constitue un enjeu particulier pour la démonstration. En effet, les méthodes qualifiées internationalement pour dimensionner les ouvrages de génie civil (Eurocodes) considèrent une durée de vie de 100 ans au maximum. Pour dimensionner les structures, l'Andra s'est basé sur la méthode des Eurocodes, mais en définissant des états limites de service (ELS) et ultime (ELU) étendus. Elle a ensuite fait reposer sa démonstration sur des calculs spécifiques intégrant les résultats de campagnes d'essais adaptées, réaliséesau laboratoire souterrain ou dans d'autres infrastructures souterraines.

La Commission estime que la démarche choisie par l'Andra et les études numériques réalisées permettent de vérifier la tenue des structures du génie civil pendant la durée de service de l'ouvrage.

Le principal enjeu est la durabilité des structures en béton. Plusieurs solutions ont été développées pour y répondre au niveau de la conception, des dispositions constructives et de la surveillance. Tout d'abord, pour accroitre la durée de vie de l'ouvrage soumis aux efforts mécaniques induits par la convergence de la roche, un matériau compressible est incorporé au revêtement ou voussoir en béton (*cf.* 5.4.1). Ceci permet de réduire les épaisseurs mais aussi les éventuels ferraillages du revêtement, potentiellement corrodables. D'autre part, des formulations spécifiques de béton ont été mises au point et validées par des approches performancielles en considérant les conditions réelles du stockage. Des recommandations de mises en œuvre ont été formulées pour garantir une exécution de niveau élevé et pour prévenir des pathologies telles que la réaction sulfatique interne et la réaction alcali-granulats. La prédiction du comportement de l'ouvrage à moyen et long terme a été réalisée en couplant des modèles thermo-hygro-mécano-chimiques. Elle a ainsi pu valider les dispositions prises.

Pour finir, les moyens prévus pour surveiller la durabilité des structures (capteurs de température et d'humidité, jauges de contraintes, détection de défauts) vérifieront le bon fonctionnement du stockage durant la phase d'exploitation et guideront au besoin la programmation de réparations voire de jouvences.

La Commission recommande que, dans une approche prudente, l'Andra établisse et teste des procédures de réparation de structures de génie civil endommagées.

5.7 Ouvrages de scellement

Les scellements interviennent dans la conception du stockage pour fermer définitivement les différents quartiers HA et MAVL et pour isoler définitivement l'ensemble de l'ouvrage de l'aquifère de l'Oxfordien. Dans le premier cas, ils sont réalisés dans les galeries de liaison creusées dans l'unité argileuse. Dans le deuxième cas, ils sont réalisés au droit de l'unité silto-carbonatée (USC) dans les liaisons surface-fond (LSF : puits et descenderies).

Les scellements assurent ainsi une fonction d'isolement en constituant une barrière à l'intrusion humaine au moins aussi difficile à franchir que celle posée par le COx sain. En revanche, les scellements sont une entrave à la récupérabilité. La date à laquelle ils seront construits doit donc être définie en fonction des choix qui seront faits en matière de réversibilité (*cf.* section 6.2).

La fonction de sûreté principale des scellements est de limiter la circulation d'eau dans le stockage, tout en préservant l'intégrité des propriétés du COx. L'eau qui sollicitera les scellements aura deux origines : d'une part l'eau en provenance des aquifères de la couverture du COx qui exercera très rapidement (quelques années à quelques dizaines d'années après la fermeture) une pression sur l'extrémité externe des scellements des LSF, d'autre part, l'eau issue du drainage du COx vers l'intérieur du stockage qui sollicitera progressivement (quelques dizaines à centaines de milliers d'années) les extrémités internes des scellements des LSF ainsi que les scellements de galeries. Le processus de drainage du COx entrera en compétition avec le dégagement d'hydrogène de radiolyse et de corrosion anoxique des aciers, qui maintiendra une pression de gaz pendant une durée estimée à plusieurs centaines de milliers d'années. Ce délai important pour la resaturation en eau du stockage est favorable pour limiter le relâchement des radionucléides au sein des alvéoles mais le transitoire eau-gaz doit être pris en compte pour éviter un endommagement du COx dû à une surpression de gaz. Ainsi, pour assurer la fonction de sûreté « limiter la circulation d'eau sans endommager le COx », les scellements doivent présenter deux propriétés apparemment contradictoires, être très peu perméables à l'eau et être suffisamment perméables au gaz, même dans des conditions proches de la saturation en eau.

Pour répondre à cette double exigence, l'Andra a proposé un concept général de scellement dont l'élément constitutif actif principal est un noyau argileux, composé d'un mélange d'argile et de sable, aux propriétés adéquates.

Pour assurer la meilleure continuité du scellement avec le COx, le noyau argileux s'appuiera directement sur le COx sain sur la totalité de la longueur du scellement dans les puits ou sur une série de tronçons dans les galeries et descenderies. Dans les deux cas, le contact avec le COx sera assuré par la dépose du soutènement et le purgeage de l'argilite endommagée. Le bouchon aura une longueur de 40 m en galerie et occupera toute l'emprise de l'USC traversée par les LSF (environ 120 m). Le noyau argileux sera confiné mécaniquement à ses extrémités par deux massifs d'appui en béton. Pour les scellements horizontaux, l'Andra a examiné différentes options portant sur la possibilité de supprimer les massifs d'appui en comptant sur la tenue mécanique par simple frottement du noyau sur l'argilite et en recherchant à réduire l'effet de la fracturation connectée dans la zone endommagée au moyen de saignées remplies des matériaux argileux.

La démarche de qualification du concept de scellement repose sur la définition à partir d'essais en laboratoires de surface et souterrain des matériaux constitutifs du noyau argileux, sur la

quantification de leurs propriétés et sur la modélisation du comportement de l'ensemble en conditions de stockage. Les essais ont porté essentiellement sur la phénoménologie de la resaturation en eau du noyau argileux (à l'échelle ½ au laboratoire souterrain) et sur les techniques de mise en place en galerie (à l'échelle 1 en laboratoire de surface).

5.7.1 Préserver les propriétés du COx

Des phénomènes de radiolyse et de corrosion anoxique des aciers auront lieu au sein du stockage et seront générateurs d'hydrogène. La production lente et continue de gaz induira, quelques milliers d'années après la fermeture du stockage, une surpression qui doit rester limitée pour ne pas endommager le COx. L'Andra a montré que le mélange de 40 % de bentonite et de 60 % de sable possède des propriétés adaptées à la migration du gaz : pression d'entrée de gaz inférieure à 2 MPa et perméabilité au gaz élevée, de trois ordres de grandeurs supérieure à celle de l'eau, même pour un milieu quasi saturé en eau, alors même que la perméabilité à l'eau reste très faible, de l'ordre de $1\ 10^{-11}$ m·s^{-1} (*cf.* 4.5.3).

Les dernières modélisations du transitoire eau-gaz effectués par l'Andra, prenant en compte les propriétés du matériau du noyau, conduisent à une valeur maximale « au mieux de la connaissance » de pression de gaz de 7,5 MPa, et de 10 MPa dans le cas utilisant les valeurs hautes dans la gamme des incertitudes des paramètres. Ces valeurs sont inférieures à la contrainte horizontale mineure existant dans le COx, mesurée à 11,5 ± 0,3 MPa, ce qui permet d'éviter la fracturation de la roche selon le modèle hydro-mécanique utilisé.

5.7.2 Fonction limiter les flux d'eau *via* les LSF

La limitation des flux d'eau, utile pour s'opposer au transfert des radionucléides qui parviendraient à migrer des alvéoles vers les galeries d'accès, est assurée par la très faible perméabilité du noyau argileux et par le retour à une perméabilité proche de la perméabilité initiale de l'argilite du COx endommagé environnant, sous l'effet de la pression exercée par le gonflement des matériaux du noyau au cours de la resaturation. Les paramètres dimensionnants sont donc la perméabilité à l'eau du noyau et la pression de gonflement.

Les essais en vrai grandeur ont permis de tester différentes méthodes de mise en place. Ils ont montré que des valeurs adaptées sont obtenues pour un noyau argileux constitué d'un mélange de 40 % de bentonite avec du sable siliceux, avec une densité sèche de 1,3.L'objectif de perméabilité à l'eau obtenu est de $1\ 10^{-11}$ m·s^{-1} et la pression de gonflement est comprise entre 1 et 4 MPa ce qui permet d'assurer la cicatrisation de la fracturation de la zone fracturée (connectée ou non) développée à proximité de l'ouvrage au moment de son creusement, et sans risque d'une nouvelle fracturation du COx.

La Commission estime que l'Andra a fait la démonstration de sa capacité à mettre en place le matériau de scellement et de choisir une formulation qui permette d'atteindre les propriétés hydro-mécaniques désirées (perméabilité au gaz mais faible perméabilité à l'eau, pression de gonflement) des scellements.

5.7.3 Avis de la Commission

Pour la DAC, le concept de scellement n'est pas encore totalement validé *in situ*. Les calculs de sûreté réalisés par l'Andra montrent que dans le cas d'un scénario *what-if ?* très pénalisant où tous les scellements sont défaillants, le débit molaire des radionucléides les plus mobiles (^{129}I et ^{36}Cl) reste au moins d'un ordre de grandeur inférieur au débit molaire émis par diffusion au toit du COx dans le cas du scénario d'évolution normal.

L'Andra projette dans les prochaines années la réalisation de démonstrateurs pour étudier le mode de mise en place de remblai et de scellement avec ou sans massif d'appui. Un programme expérimental complémentaire a été initié pour consolider les connaissances sur le comportement hydromécanique et chimique du matériau constitutif du noyau, en contexte de stockage.

Au stade actuel, l'Andra a défini un concept de scellement pour les galeries de fond et les liaisons surface-fond à partir d'éléments matériaux dont le comportement phénoménologique a été étudié, et la mise en œuvre testée à une échelle représentative, en laboratoire.

Les différentes configurations simulées des scellements en concept de stockage, conduisent à des performances telles que le flux de radionucléides vers les aquifères via les liaisons surface-fond reste bien inférieur au flux transitant via le COx. Dans tous les cas, le comportement des liaisons surface-fond ne remet pas en cause les performances d'ensemble du stockage.

L'Andra a apporté des éléments de démonstration et de quantification des propriétés de tous les éléments constitutifs de son concept de scellement. L'Andra projette dans les prochaines années la réalisation de démonstrateurs pour étudier le mode de mise en place de remblai, de scellement avec ou sans massif d'appui. Un programme expérimental complémentaire a été initié pour consolider les connaissances sur le comportement hydromécanique et chimique du matériau constitutif du noyau, en contexte de stockage.

La Commission note que le maintien d'une pression de gaz suffisamment faible au sein du stockage pour ne pas conduire à une fracturation du COx *nécessite l'emploi d'un matériau argileux composé d'un mélange d'argile et de sable aux propriétés particulières pour lequel le retour d'expérience est limité, ce qui justifie des études complémentaires.*

La Commission recommande que l'Andra achève la mise au point de son concept de scellement en programmant des démonstrateurs d'ensemble in situ.

5.8 Fonctionnement intégré du stockage, transfert aux exutoires

Les fonctions de sûreté du stockage sont portées d'une part par les propriétés du COx, d'autre part par les dispositions constructives du stockage, conçues de manière à préserver les propriétés de la roche hôte. Ces éléments contribuent à limiter les flux de radionucléides à des

valeurs extrêmement faibles, le système de stockage n'ayant pas vocation à assurer un confinement absolu.

La démarche de sûreté complète consiste à intégrer les fonctionnements des différentes composantes du stockage en quantifiant les flux de radionucléides, aussi faibles soient-ils, tout au long de leur parcours depuis les colis jusqu'à la biosphère. La modélisation phénoménologique et les calculs associés permettent de quantifier et de suivre les flux provenant des composants du stockage et traversant le COx, puis de simuler leur propagation dans les aquifères jusqu'aux exutoires, qui constituent les points d'entrée dans la biosphère. Cela nécessite des outils de calcul intégrateurs prenant en compte tous les mécanismes de transfert et de retard des radionucléides. La démarche de sûreté repose sur les modèles opérationnels de sûreté évoqués à la section 4.11. Les calculs déterminent au final les chroniques de concentrations aux exutoires des radionucléides mobiles (^{129}I, ^{36}Cl, ou ^{79}Se) et toxiques chimiques, lesquelles alimentent les modèles de biosphère qui calculent le débit de dose au groupe représentatif dans les différents scénarios.

5.8.1 Flux issus des colis HA

La matrice de verre nucléaire a été spécialement conçue pour incorporer les radionucléides des déchets HA dans un réseau vitreux dont on connaît la résistance vis-à-vis de l'altération par l'eau. L'Andra utilise un modèle opérationnel de relâchement des radionucléides des colis HA très proche du modèle scientifique. Dans le scénario SEN-env, le modèle est fondé sur la vitesse initiale V_0 de dégradation des colis de verre nucléaire (*cf.* Annexe IV.2.2), la surface de verre accessible à l'eau et un relâchement des radionucléides congruent à la dissolution du verre. Les vitesses sont exprimées en perte de masse de verre par unité de surface et par jour. En les multipliant par la surface du verre en contact avec l'eau on obtient la quantité de verre dissoute en perte de masse par jour, et donc par congruence celle des radionucléides dont la concentration dans le verre est connue.

L'eau vient au contact du verre lorsque les conteneurs des colis n'assurent plus l'étanchéité, à une date qui dépend de la vitesse de corrosion de l'acier du conteneur de stockage, lequel est dimensionné pour que cette date soit postérieure à la phase thermique.

Les choix de l'Andra se portent sur une nuance d'acier sujette à une corrosion de type généralisée et sur des hypothèses de modélisation fondées sur la lixiviation de la matrice de verre par de l'eau pure, et une surface accessible à l'eau égale à la surface géométrique développée au sein du bloc de verre fracturé à l'intérieur du colis. Ces choix et hypothèses sont conservatifs et correspondent à des cas pour lesquels les données et modèles sont les mieux établis.

En conclusion, les choix et hypothèses de l'Andra pour modéliser la dégradation de la matrice vitrifiée des colis HA sont très conservatifs et conduisent à des valeurs de relâchement des radionucléides largement surestimées par rapport aux vitesses de relâchement attendues en conditions de stockage.

5.8.2 Flux issus des colis MAVL

L'Andra considère que seuls les colis primaires de déchets métalliques activés compactés et les colis de sels enrobés dans du bitume assurent un confinement des radionucléides. Pour tous les autres colis, le terme source est considéré comme labile, c'est-à-dire que l'analyse de sûreté utilise l'hypothèse majorante que toute l'activité est libérée instantanément dès que l'eau arrive au contact des déchets.

Pour les colis de déchets métalliques compactés, le modèle de dégradation est une corrosion généralisée des divers métaux.

Pour la plupart des colis d'enrobés bitumés et dans le scénario d'évolution normale, la modélisation du relâchement des radionucléides est faite en deux temps. Le modèle phénoménologique Colonbo, qui intègre la diffusion de l'eau dans la matrice bitume, la reprise d'eau par les sels solubles, une augmentation de perméabilité, et la migration des sels et radionucléides, est d'abord utilisé pour les calculs de sûreté jusqu'à 1 000 ans. Ensuite, il est considéré une dissolution directe des sels solubles et le relâchement instantané des espèces. Dans la situation enveloppe, le modèle simplifié de dissolution directe des sels solubles et de relâchement associé des radionucléides pour tous les colis d'enrobés bitumés est appliqué dès la fermeture du stockage (hypothèse conservative). Ce modèle simplifié est également employé pour les colis dont la teneur en sels n'entre pas dans le domaine d'applicabilité du modèle Colonbo.

Les valeurs des paramètres vitesses de corrosion et fractions de sels solubles par colis sont bien connues.

Les modèles utilisés par l'Andra pour décrire le relâchement des radionucléides à partir des colis MAVL sont conservatifs. Ces conservatismes conduisent à une forte majoration du terme source.

5.8.3 Flux issus des alvéoles jusqu'au COx sain

La complexité des milieux de diffusion situés entre les colis et le COx sain conduit l'Andra à découper les quartiers HA et MAVL en plusieurs domaines. La partie utile où sont déposés les déchets (lieu d'émission du terme source) est considérée comme un milieu poreux homogène entièrement saturé dès la fermeture de l'alvéole. Dans ce milieu, tous les radionucléides diffusent de manière identique et à la même vitesse suivant un coefficient de diffusion assimilé à celui d'une espèce neutre. Pour le quartier HA, la partie utile comprend les colis de stockage et les intercalaires, les chemisages et vides résiduels, et enfin le coulis cimentaire de remplissage à l'extrados. Pour le quartier MAVL, elle comprend les colis de stockage et les vides.

Les radionucléides ont à franchir d'autres milieux pour atteindre le COx sain. Il s'agit pour les alvéoles HA du COx perturbé autour des alvéoles, et pour les alvéoles MAVL des parois en béton (perturbées par des sels ou des molécules organiques) et du COX perturbé (*cf.* Annexe IV.4.2). Le mode de transfert à travers les scellements est également pris en compte. Pour tous ces milieux, les valeurs des paramètres de diffusion sont connues. Les valeurs choisies par l'Andra sont en accord avec la vision pénalisante des calculs de performances pour les analyses de sûreté.

Les valeurs utilisées par l'Andra pour les paramètres des modèles simplifiés de relâchement des radionucléides des colis HA et MAVL et pour leur migration sont très conservatives. La Commission estime qu'elles sont appropriées pour une analyse de sûreté.

Les calculs de l'Andra conduisent à des débits molaires annuels en radionucléides sortants des quartiers pour les radionucléides les plus mobiles. Les calculs sont conduits jusqu'à un million d'années. Ces flux en sortie de quartier HA et MAVL sont ensuite utilisés comme valeurs d'entrée pour les calculs à l'échelle supérieure.

5.8.4 Flux traversant le COx, transferts en grand jusqu'aux exutoires

Les calculs concernent en premier lieu les mécanismes de transport et de retard dans le COx depuis l'extrados des alvéoles des quartiers HA et MAVL jusqu'aux limites de la roche hôte. Ils sont basés sur une représentation simplifiée de la géométrie du stockage qui repose sur le regroupement de ses composants en macro-composants hydrauliques assimilables à des milieux poreux équivalents. L'Andra distingue ainsi la position des quartiers de stockage et des infrastructures d'accès, les galeries et leurs scellements et les liaisons surface-fond avec leurs scellements. Chaque macro-composant peut être lui-même simplifié en transformant par exemple sa géométrie pour l'adapter aux maillages des modèles numériques.

Le modèle de sûreté du transfert à travers le COx est convectif et diffusif, régi par les paramètres de transport suivants : perméabilité, porosité, coefficient de diffusion, coefficient de distribution Kd (*cf.* section 4.4). La simplification est recherchée en adoptant une valeur unique de perméabilité « en grand » pour cette formation provenant d'une analyse probabiliste basée sur les lois statistiques issues des mesures réalisées dans les différentes unités du COx. Les paramètres de porosité accessible, de diffusion et de rétention (Kd) sont individualisés pour chaque radionucléide d'intérêt. Les liaisons surface-fond sont intégrées au sein du COx avec une géométrie simplifiée.

Les données d'entrée sont les flux résultant du calcul de relâchement des radionucléides et toxiques chimiques du colis dans les alvéoles selon la démarche discutée au paragraphe 5.8.3. Les résultats de ces calculs fournissent des chroniques de flux aux limites supérieure et inférieure du COx, ainsi qu'à la sortie des liaisons surface-fond.

Pour traiter le transport des radionucléides mobiles depuis les limites du COx au sein des aquifères, le modèle utilisé pour les calculs de sûreté est un modèle hydrogéologique multicouche simplifié dérivé du modèle hydrogéologique de secteur, qui lui-même s'appuie sur des conditions aux limites hydrauliques obtenues à partir du modèle hydrogéologique régional selon la méthodologie présentée au paragraphe 4.3.4. Le transport est modélisé *via* un processus convectif-dispersif dans les aquifères et diffusif dans les horizons peu perméables (dits semi-perméables). Le modèle permet de calculer les trajectoires des différents radionucléides ainsi que leur temps de transfert et les concentrations atteintes aux différents exutoires identifiés par la modélisation de la circulation des eaux dans les aquifères. La géométrie du modèle peut s'adapter aux modifications morphologiques et hydrologiques sous l'effet des évolutions géodynamiques et climatiques anticipées sur le million d'années (*cf.* 4.3.5).

Le choix des exutoires n'a pas d'influence sur l'écoulement et le transport à grande échelle des radionucléides dans les aquifères. Il joue en revanche un rôle dans l'évaluation de la

concentration des radionucléides dans l'eau qui sera utilisée pour alimenter les modèles de biosphère.

Pour ses calculs conduits sur un million d'années, l'Andra a considéré deux types d'exutoires, le prélèvement d'eau dans les rivières drainantes selon les conclusions du modèle hydrogéologique, et le prélèvement d'eau dans des puits captant les aquifères. Il appartient aux évaluateurs de la sûreté de valider le choix des scénarios et des exutoires associés.

5.8.5 Mise en œuvre de la démarche de modélisation

Le calcul intégré a été réalisé un grand nombre de fois pour tester différentes hypothèses concernant le comportement et l'évolution des composants du stockage en situation d'évolution normale ou altérée (scénarios SEN et SEA, *cf.* section 2.2). Cette possibilité est offerte grâce à la démarche scientifique de l'Andra qui a affecté un modèle simplifié opérationnel à chaque composant du stockage en s'assurant à chaque fois du conservatisme des hypothèses faites sur la phénoménologie et le choix de ces paramètres.

Cette démarche scientifique de l'Andra a plusieurs conséquences :

- Le conservatisme de chaque modèle individuel permet de garantir que chaque composant assurera *a minima* telle ou telle fonction de sûreté. La possibilité de multiplier les simulations avec des paramètres différents permet d'apprécier la dispersion des résultats et de réaliser des analyses de sensibilité. Le conservatisme offre de plus un moyen de pallier les incertitudes résiduelles ;
- Le découpage en modèles par composants du stockage permet de tester l'efficacité d'un composant vis-à-vis de la sûreté intégrée, en simulant différents niveaux de défaillance (scénarios SEA et *what-if ?*, *cf.* section 2.2) ;
- Le découpage permet d'améliorer la représentation de la phénoménologie d'un composant particulier si cela s'avère nécessaire et si les progrès scientifiques le permettent ;
- Le découpage permet enfin de s'adapter à la simulation de différents scénarios de calcul qui seront requis par les évaluateurs de la sûreté.

La réalisation d'une simulation demande l'articulation entre différents modèles numériques. Pour faciliter cette articulation et éviter les erreurs de manipulations des outils compte-tenu du grand nombre de calculs (plusieurs milliers), l'Andra a développé une plateforme informatique, Cassandra, qui intègre les échanges de données et la réalisation des analyses de sensibilité.

Les calculs effectués par l'Andra suivant les différents scénarios, avec les données disponibles et la démarche de mise en œuvre des modèles opérationnels de sûreté décrite ci-dessus, fournissent les flux et les concentrations aux exutoires de chacun des radionucléides d'intérêt.

Le scénario d'évolution normale (SEN) décrit le fonctionnement du stockage en supposant que le stockage est saturé en eau dès sa fermeture. Le choix d'un milieu saturé dès la fermeture conduit donc à calculer une date d'arrivée des éléments relâchés aux limites des quartiers bien plus précoce que ce qu'elle ne sera en réalité : en effet, l'attaque chimique des composants et les transferts vers le COx sont plus lents pendant la phase de resaturation qui pourrait durer

quelques centaines de milliers d'années. Le calcul est donc très conservatif vis-à-vis de la sûreté.

Dans la situation de référence (SEN-Ref), l'Andra choisit les paramètres (dits de référence) les plus étayés dans les gammes des valeurs disponibles. À défaut, l'Andra choisit les valeurs qui conduisent à des relâchements et des migrations des radionucléides majorants. Dans la situation enveloppe (SEN-Env), les paramètres sont choisis de façon *a priori* conservative en prenant les valeurs extrêmes des gammes de valeurs.

L'étape suivante consiste à convertir ces flux et concentrations en débit de dose au groupe critique. L'Andra conclut avec ses calculs que ses choix de conception, utilisant les propriétés du COx et les contraintes qu'il impose, conduisent à des débits de dose conformes au guide de sûreté de l'ASN.

La démarche de sûreté de l'Andra repose sur une approche scientifique maîtrisée qui couvre les données, les processus et la modélisation. L'Andra dispose en interne d'un modèle intégré permettant d'évaluer les performances du stockage en individualisant le rôle de chaque composant qui participe à une ou plusieurs fonctions de sûreté. L'analyse détaillée de la phénoménologie des processus attachés à chaque composant a permis la simplification vers des modèles de sûreté opérationnels dont le conservatisme a été établi. L'assemblage final des modèles emboîtés permet de calculer la performance du système de stockage.

La Commission considère que la méthodologie et les outils de calculs développés par l'Andra sont qualifiés et correctement appliqués. Ils conduisent à des résultats enveloppes, qui ne visent pas à représenter au plus près la réalité, mais à assurer que les conséquences pour l'homme et l'environnement ne sont pas sous-estimées.

6 Les questions transverses

6.1 Phase industrielle pilote

La loi n° 2016-1015 du 25 juillet 2016, inscrite dans le code de l'environnement (article L. 542-10-1), pose le principe de la phase industrielle pilote (Phipil) : « L'exploitation du centre débute par une phase industrielle pilote permettant de conforter le caractère réversible et la démonstration de sûreté de l'installation, notamment par un programme d'essais *in situ*. L'autorisation de mise en service est limitée à la phase industrielle pilote. Tous les colis de déchets doivent rester aisément récupérables durant cette phase. La phase industrielle pilote comprend des essais de récupération de colis de déchets. »

La proposition de l'Andra quant au contenu et à l'organisation de la phase industrielle pilote figure dans le plan directeur de l'exploitation (pièce 16 du dossier de demande d'autorisation de création) et a été précisée dans un rapport spécifique (documents CG-TE-D-RAP-AMOA-TR0-000-24-0007 du 31 janvier 2025 et COMRPADIC 240024 du 28 janvier 2025). Ces documents distinguent deux phases successives de la Phipil.

- La première phase, qui commencera à la signature du décret d'autorisation de création, couvrira la période de construction et de qualification de l'installation. En parallèle, des démonstrateurs (d'alvéoles, de scellements, ...) seront réalisés. Cette phase inclut le test des installations depuis la surface, la descente de colis inactifs et leur récupération. Elle se conclut par la mise à jour du rapport de sûreté en vue de l'obtention de l'autorisation de mise en service partielle (c'est-à-dire limitée à la phase industrielle pilote) qui sera délivrée par l'ASNR. Cette autorisation permettra les essais avec des colis actifs puis le début de l'exploitation industrielle. La Commission considère cette première phase comme une phase classique de qualification d'une installation industrielle.
- La deuxième phase, à partir de l'autorisation de mise en service partielle de l'installation, commencera par les essais sur colis actifs et se poursuivra par un début d'exploitation industrielle. Elle donnera lieu à un rapport de l'Andra, examiné selon une procédure impliquant notamment l'ASNR, la CNE et le Parlement. À l'issue de cette procédure, l'ASNR délivrera l'autorisation de mise en service complète de l'installation.

Les techniques et les processus qui devront être évalués pendant ces phases sont totalement différents : techniques de creusement et de construction d'ouvrages dans la première phase, mise en œuvre industrielle des opérations de stockage de colis dans la seconde phase. Les objectifs poursuivis, les échéances à respecter et les implications sur les jalons décisionnels sont également différents. L'objectif majeur de la première phase est de 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 la démonstration de sûreté. Ses résultats devront être entièrement disponibles à l'appui de la première demande d'autorisation d'exploitation. La seconde phase, elle, vise évaluer le fonctionnement industriel de l'installation ; ses résultats constitueront le cœur du rapport destiné au Parlement en vue d'éclairer sa décision sur les conditions de fonctionnement de Cigéo au-delà de la Phipil.

6.1.1 Enjeux de la phase industrielle pilote pendant la construction initiale du stockage

La connaissance de la roche hôte du Callovo-Oxfordien dans laquelle sera construit le stockage est obtenue par des mesures réalisées depuis la surface, ainsi que par les expérimentations conduites depuis une vingtaine d'années dans le laboratoire souterrain. Ces résultats alimentent les simulations sur lesquelles se fonde le rapport provisoire de sûreté. Cependant, le laboratoire n'est pas situé exactement au même endroit que le futur stockage, même s'il en est proche. Pendant la phase de creusement des galeries et des alvéoles dans le COx, il sera donc utile de s'assurer *in situ*, au fur et à mesure de la progression des creusements, que les caractéristiques de la roche hôte sont conformes à ce qui est attendu et pris en compte dans le rapport de sûreté. De même, les technologies de creusement ont fait l'objet de nombreuses expérimentations dans le laboratoire. En particulier, l'endommagement du COx autour des excavations, en fonction de leurs tailles et des moyens de creusements employés, a été largement étudié. Les résultats de ces études devront être confirmés lors des creusements à échelle réelle, avec les moyens, les procédures et les cadences industrielles, afin notamment de s'assurer que l'ampleur de l'endommagement de la roche est conforme aux prévisions faites à partir des expériences menées dans le laboratoire souterrain. Il faudra également s'assurer que les ouvrages construits avec les moyens industriels de réalisation sont conformes au rapport de sûreté.

Ces vérifications, qui représentent l'enjeu principal de la première phase de la Phipil, répondent à l'objectif de « conforter les données utilisées pour la conception et pour la démonstration de sûreté ». Il s'agit en fait de passer du rapport de sûreté de l'installation telle que conçue (et figurant au dossier de DAC) au rapport de sûreté de l'installation telle que réalisée et qui sera produit à l'appui du dossier de demande de l'autorisation d'exploiter le stockage (autorisation qui sera donnée par l'ASNR), et donc avant la descente du premier colis actif.

6.1.2 Enjeux de la phase industrielle pilote pendant le début d'exploitation industrielle du stockage

La seconde partie de la phase industrielle pilote débutera lorsque l'autorisation d'exploiter aura été donnée par l'ASNR sur la base du rapport de sûreté mis à jour et des essais réalisés avec des colis inactifs. On s'intéressera alors à la mise en œuvre de l'outil industriel de stockage et les technologies concernées relèveront principalement de la manutention et de la surveillance. Il s'agira cette fois de démontrer que l'installation réalisée et qualifiée pourra effectivement être exploitée, en conformité avec le rapport de sûreté, avec les matériels, les procédures et les personnels prévus et atteindre, après une phase de montée en puissance, la cadence de mise en stockage prévue. La validation de ces processus industriels est l'enjeu essentiel de la Phipil.

La Commission souligne l'importance de la démonstration de la cadence atteignable en régime stabilisé. En effet, cette cadence conditionne la durée d'exploitation qui sera nécessaire pour stocker l'inventaire de déchets prévu. Cette durée devra être compatible avec la durée de vie des infrastructures et des équipements. La Commission estime nécessaire que la cadence atteignable en régime stabilisé soit démontrée pendant la phase industrielle pilote.

La Commission recommande que le nombre de colis stockés pendant la phase industrielle pilote et la durée de celle-ci soient suffisants pour apprécier la capacité de l'installation à absorber des aléas (perturbations de livraison, pannes de l'installation, ...) et en particulier démontrer que la capacité d'entreposage tampon sur site est suffisante.

Par ailleurs, des essais de récupérabilité seront conduits au cours de cette phase et contribueront à la démonstration de la réversibilité du stockage, conformément à la loi.

Les résultats de cette deuxième partie de la Phipil seront destinés à alimenter le rapport destiné au Parlement qui devra statuer sur les conditions d'exercice de la réversibilité.

6.1.3 Conditions d'achèvement de la Phipil.

Le code de l'environnement (article L. 542-10-1), stipule : « Les résultats de la phase industrielle pilote font l'objet d'un rapport de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs [,qui], accompagné de l'avis de la Commission nationale [d'évaluation] et de l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire est transmis à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques qui l'évalue et rend compte de ses travaux aux commissions compétentes de l'Assemblée nationale et du Sénat. Le Gouvernement présente 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'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. L'Autorité de sûreté nucléaire délivre l'autorisation de mise en service complète de l'installation. »

Le rapport sur les résultats de la Phipil sera principalement alimenté par les résultats obtenus au cours de la deuxième partie de la Phipil. La satisfaction des critères de réussite qui ont été proposés par l'Andra devra être démontrée dans le rapport.

La Commission considère que les principaux critères pertinents pour apprécier la réussite de la phase industrielle pilote sont les suivants :

- Pour la période de réalisation de l'installation, les critères sont la réussite des essais de qualification avec colis inactifs et l'obtention de l'autorisation d'exploiter partielle délivrée par l'ASNR.
- Pour la période de début d'exploitation, les critères sont la réussite des essais avec des colis actifs, la réussite des essais de récupérabilité, la validation en vraie grandeur des matériels, des procédures et de la qualification des personnels et l'atteinte d'une cadence de mise en stockage stabilisée permettant de stocker l'inventaire de référence au cours de la durée de vie prévue de l'installation.
- Par ailleurs, au cours de la Phipil, un fonctionnement satisfaisant de la gouvernance du stockage devra être atteint. L'Andra a proposé les modalités d'association et d'information des parties prenantes. La Commission rappelle qu'il est important que l'exploitant conserve la pleine responsabilité de la mise en œuvre opérationnelle du projet.

La Commission observe que la plus grande partie de ces critères figurent dans les propositions de l'Andra.

La Commission estime que les critères de réussite proposés par l'Andra sont pertinents. Elle recommande toutefois d'y ajouter la démonstration de la cadence atteignable par l'installation.

La Commission recommande que la procédure de fin de Phipil, incluant les critères de réussite et leur mode d'évaluation, soit fixée dans le décret d'autorisation de création.

Le rapport sur les résultats de la Phipil qui sera adressé à l'OPECST contiendra la démonstration de l'atteinte des critères de réussite. L'Andra propose d'y inclure également le résultat de la première réévaluation de sûreté, qui serait réalisée après quelques années d'exploitation. La Commission estime qu'une durée d'exploitation de l'ordre de cinq ans devrait permettre d'atteindre une cadence représentative du fonctionnement pérenne de l'installation.

Entre la parution du rapport sur les résultats de la Phipil et le projet de loi sur la réversibilité du stockage, les instances désignées par la loi (*cf. supra*) devront remettre leur avis à l'OPECST qui fera alors sa propre évaluation destinée aux commissions compétentes de l'Assemblée nationale et du Sénat. L'ASNR de son côté délivrera l'autorisation de mise en service complète de l'installation. Ces procédures, impliquant les commissions compétentes du Parlement, auront une certaine durée, pendant laquelle l'Andra propose de poursuivre l'exploitation du stockage dans les conditions prévues par la première autorisation d'exploiter (limitée aux types de colis autorisés pour la Phipil).

L'Andra propose de ne pas interrompre les opérations de mise en stockage pendant l'instruction du rapport de fin de Phipil. La Commission recommande que cette proposition soit acceptée afin que l'activité ne soit pas mise en sommeil pendant un laps de temps risquant d'être préjudiciable au maintien de la capacité opérationnelle de l'installation.

En effet, la Commission souligne que la qualification d'une installation industrielle et tout particulièrement nucléaire (incluant les matériels les procédures et les personnels) ne peut être maintenue en cas d'arrêt prolongé de son fonctionnement. Si la mise en stockage de colis devait être arrêtée pendant une durée significative, le redémarrage de l'installation rencontrerait probablement des difficultés techniques qui pourraient même nécessiter une nouvelle qualification.

Compte tenu de la durée inhérente aux procédures administratives qui seront mises en œuvre après la parution du rapport de fin de Phipil, la Commission recommande de ne pas limiter le nombre de colis qui seront stockés au titre de la première autorisation.

6.2 Modalités de la réversibilité

L'évolution, en France, de la législation et de la réglementation depuis 1991, a permis de préciser progressivement l'acception de la notion de réversibilité d'un stockage géologique, notamment grâce aux lois n° 91-1381 du 30 décembre 1991, n° 2006-739 du 28 juin 2006 et n° 2016-1015 du 25 juillet 2016.

Les quatre composantes de la réversibilité sont :

- la progressivité de la construction ;
- la flexibilité de l'exploitation ;

- la récupérabilité des colis de déchets pendant une certaine durée ;
- l'adaptabilité de la conception et de sa capacité à prendre en compte un inventaire de nature et de volume distincts de celui de départ.

Ces quatre composantes de la réversibilité sont d'importances inégales pour la définition du projet Cigéo et pour l'exploitation du centre de stockage. Leur mise en œuvre s'inscrit dans la gouvernance de Cigéo c'est-à-dire les processus décisionnels qui seront mis en place pour suivre l'évolution du stockage de sa construction à sa fermeture.

6.2.1 Progressivité

La progressivité est essentiellement une bonne pratique constructive. Les méthodes de construction de Cigéo pourront être adaptées aux aléas du chantier ou modernisées en fonction des progrès techniques.

6.2.2 Flexibilité

La flexibilité de Cigéo concerne ses modalités d'exploitation qui pourront être adaptées au rythme d'arrivée des colis de déchets de haute ou moyenne activité. Par exemple, les chroniques d'arrivées des colis dépendront du rythme des opérations de retraitement et de conditionnement des déchets ultimes qui pourra être affecté par une modification de la durée de vie des réacteurs.

6.2.3 Récupérabilité

La récupérabilité des colis de déchets est, pour sa part, un élément essentiel de la réversibilité à laquelle doit se conformer Cigéo. Aisément compréhensible, ce concept doit toutefois être précisé. Dans son acception la plus large, la récupérabilité devrait porter sur la totalité des colis, sans limitation de temps. En réalité, la sûreté à long terme du stockage géologique nécessite sa fermeture. La récupérabilité doit donc être assurée au plus pendant la période d'exploitation. À cet égard, la loi du 25 juillet 2016 précise utilement que « les modalités de la récupérabilité et sa durée d'exercice doivent être cohérentes avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage ».

La récupérabilité des déchets relève d'une approche prudente de la mise en place du stockage basée sur des choix informés et étudiés soigneusement.

La récupérabilité des déchets requiert la mise en place de mesures actives lors de la construction et de l'exploitation du stockage. Ces mesures ne doivent cependant pas remettre en cause le principe fondamental de fonctionnement passif du stockage après fermeture. L'article L542-1-1 du code de l'environnement définit en effet clairement le stockage de déchets radioactifs comme « l'opération consistant à placer ces substances dans une installation spécialement aménagée pour les conserver de façon potentiellement définitive dans le respect des principes énoncés à l'article L. 542-1, sans intention de les retirer ultérieurement ».

Le retrait effectif des déchets, soit en partie, soit en totalité, serait une opération lourde qui devrait être justifiée au vu des bénéfices qu'il pourrait apporter. L'apparition d'alternatives au

stockage ou d'autres filières de gestion ne justifierait pas nécessairement à elle seule une décision de retrait partiel ou total qui serait prise dans un contexte par ailleurs inconnu aujourd'hui.

Au stade de la DAC, la récupérabilité est assurée par un ensemble de mesures organisationnelles et techniques destinées à assurer la robustesse et la durabilité des principaux composants constitutifs du stockage, la disponibilité et la fonctionnalité des équipements de retrait et l'aptitude à la déconstruction des ouvrages de fermeture des galeries.

La Commission a ainsi particulièrement analysé dans le dossier de DAC les éléments permettant de garantir l'accès à l'ensemble des ouvrages souterrains (descenderie, quartiers, alvéoles) pendant toute la durée de l'exploitation du stockage, notamment sous l'angle de leur tenue mécanique et de leur déformation.

In fine, des scénarios de retrait ont été étudiés par l'Andra relatifs à l'exploitation normale, à des situations de mise en œuvre de la récupérabilité (retrait complet des colis d'un alvéole, retrait complet à l'issue de la Phipil, ouverture des galeries et des alvéoles du quartier HA) et à des situations de sûreté ou post-accidentelles (retrait d'un colis contaminé MAVL ou HA dont la manutention reste possible).

Des essais de retrait sont également prévus. Ils concernent des situations d'exploitation concrètes et font partie des essais de qualification de l'installation. La réussite de ces essais confortera la récupérabilité des déchets, notamment en démontrant le bon fonctionnement des chaînes de manutention en situation de retrait. C'est à l'issue de cette phase qu'un avis pourra être formulé sur la satisfaction de l'exigence de récupérabilité des colis.

6.2.4 Adaptabilité

La quatrième composante de la réversibilité est « l'adaptabilité de la conception [...] 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 ».

Conformément à la loi, des études dites d'adaptabilité sont conduites pour évaluer la faisabilité du stockage d'autres déchets décrits dans l'inventaire de réserve. Si, dans l'avenir, il était envisagé de stocker certains de ces déchets dans Cigéo, une modification du décret d'autorisation de création devrait être instruite.

L'adaptabilité et l'inventaire de réserve

Le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo contient, dans le plan directeur d'exploitation (PDE), une liste des déchets pris en compte pour la conception et l'analyse de sûreté du stockage souterrain. En synthèse, il s'agit principalement des déchets existants et de ceux qui seront produits par le fonctionnement puis le démantèlement des installations nucléaires existantes, auxquelles il faut ajouter les installations autorisées mais non encore en service suivantes : réacteur Jules Horowitz (RJH) et installation ITER. Les durées de fonctionnement considérées sont de 50 ans pour les réacteurs électrogènes et le RJH et de 20 ans pour ITER. Pour les déchets de haute activité, Cigéo est conçu avec l'hypothèse du retraitement de tous les combustibles usés, ce qui implique que seuls les déchets ultimes

(actinides mineurs et produits de fission) conditionnés en colis de déchets vitrifiés seront à stocker.

La liste des déchets indiquée dans le PDE constitue l'inventaire de référence (au sens de l'article D542-91) sur la base duquel les études de sûreté présentées dans le dossier de DAC ont été réalisées. En parallèle avec l'instruction du dossier de DAC, l'Andra conduit des études d'adaptabilité qui visent à examiner dans quelle mesure tout ou partie de l'inventaire de réserve pourrait être stocké dans Cigéo.

La Commission souligne que toute modification de l'inventaire affecte potentiellement la démonstration de sûreté de l'installation Cigéo. Toutefois, il convient de différencier deux cas dont les impacts sur les études sont très différents.

S'il s'agissait d'augmenter de façon modérée la quantité de déchets d'un type déjà prévu à l'inventaire de référence, par exemple s'il était question de stocker des déchets vitrifiés identiques à ceux déjà prévus dans les quartiers HA, la Commission estime que la démonstration ne poserait probablement pas de grandes difficultés. Elle note à cet égard que l'Andra n'utilise pas dans la définition actuelle de Cigéo la totalité de la surface utile de la ZIRA.

Si au contraire il s'agissait de stocker des déchets d'un type qui n'est pas prévu dans l'inventaire de référence, la Commission estime que la démonstration de sûreté serait spécifique et pourrait même nécessiter l'acquisition de données scientifiques non disponibles aujourd'hui.

Dans tous les cas, ces nouveaux déchets devraient faire l'objet d'un processus complet incluant notamment une démonstration de sûreté et une nouvelle concertation avec les parties prenantes.

6.2.5 Commentaires et recommandations de la Commission

La Commission estime que la conception de l'installation Cigéo couvre les quatre composantes de la réversibilité telles qu'elles sont définies dans la loi. La mise en œuvre de la récupérabilité, prise en compte dès le début de la conception par l'Andra, est approchée de façon rigoureuse et pragmatique, en particulier pour ce qui concerne la durabilité des ouvrages. Au stade du dossier de DAC, la Commission est d'avis que la récupérabilité est suffisamment établie.

La décision éventuelle de récupération des colis devrait être justifiée et s'appuyer sur une étude de sûreté spécifique qui dépendrait de la situation du stockage au moment où la récupération serait envisagée. En tout état de cause, il demeure fondamental que la mise en œuvre éventuelle de la récupération de certains colis ne puisse en aucun cas affaiblir la sûreté passive à long terme du stockage.

La Commission recommande que l'assurance de la capacité de récupérer un colis HA soit apportée par un essai dans un alvéole de longueur égale à celle qui sera retenue pour le quartier de stockage HA.

La Commission considère que l'instruction de la demande d'autorisation de création de Cigéo doit se dérouler sur la base de la définition correspondant au dossier de demande. La Commission recommande de dissocier les études d'adaptabilité de l'instruction de la

demande d'autorisation de création, qui ne porte que sur le stockage de l'inventaire de référence.

6.3 Stratégie de fermeture de l'installation

Conformément à l'article R. 593-16 du code de l'environnement, le dossier de demande d'autorisation contient un plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance de l'installation (pièce n° 13 du dossier). Schématiquement, la fermeture consiste à obturer les alvéoles et à remblayer progressivement les quartiers. La fermeture définitive consiste à remblayer les galeries souterraines, puis les puits et les descenderies avec la mise en place de scellements. L'engagement des opérations de fermeture fera l'objet d'une procédure d'autorisation adaptée, incluant une loi.

Ces opérations commenceront plusieurs décennies après la mise en service de l'installation. L'Andra propose un scénario pour la fermeture et réalise des études de faisabilité sur les ouvrages de scellement. Le présent paragraphe traite de la stratégie générale de fermeture ; les études relatives aux ouvrages de scellement sont commentées à la section 5.7 du présent rapport.

Divers scénarios sont envisageables pour la phase de fermeture. L'Andra en a examiné trois qui sont :

- la fermeture au plus tôt, après le remplissage de chaque alvéole ou par tranches ;
- la fermeture à la fin du remplissage de chaque quartier ;
- la fermeture de l'installation dans sa totalité à la fin de l'exploitation.

L'INB Cigéo est conçue pour que les opérations d'obturation puissent être décidées et engagées pendant toute la durée de l'exploitation. La définition du scénario est donc flexible. Elle sera nécessairement adaptée par les générations à venir en fonction des contraintes et des enjeux qui seront les leurs, du retour d'expérience de l'exploitation de Cigéo et d'autres installations notamment à l'étranger, et des besoins industriels qui pourront apparaître.

L'analyse présentée par l'Andra sur les trois scénarios qu'elle a envisagés l'a conduite tout d'abord à écarter le scénario de fermeture au plus tôt, en raison principalement de la perturbation induite sur les opérations industrielles de mise en stockage par l'introduction de risques liés aux travaux et à la coactivité. Par ailleurs, ce scénario rend précocement plus complexe la récupérabilité. La Commission estime que ce choix est raisonnable car il n'est pas opportun de compliquer *a priori* les opérations industrielles.

L'Andra écarte également le scénario correspondant à une obturation de la totalité des alvéoles à la fin du fonctionnement du stockage. Elle estime préférable, à juste titre selon la Commission, de pouvoir disposer d'un retour d'expérience des opérations de fermeture d'ampleur et de complexité croissante avant d'engager les étapes finales de fermeture du quartier de stockage HA et des zones de soutien logistique.

Le scénario prévisionnel de fermeture proposé par l'Andra prévoit l'obturation des alvéoles de stockage à la fin du remplissage de chaque quartier. La fermeture du quartier pilote HA est prévue vers 2080, celle du quartier MAVL vers 2100, ce qui permettra de disposer d'un retour d'expérience de plusieurs décennies sur le comportement des démonstrateurs de scellements. La fermeture totale est envisagée vers 2150. Ce scénario, considéré par l'Andra comme un

optimum industriel, n'est cependant pas figé et des options de fermeture plus progressives restent envisageables à ce stade.

La Commission estime que la proposition de l'Andra est pertinente et prudente car elle évite les inconvénients de la coactivité entre des opérations industrielles de nature différentes tout en amenant certains quartiers en situation de sûreté passive suffisamment tôt pour bénéficier d'un retour d'expérience.

6.4 Monitoring et surveillance de Cigéo

La stratégie de monitoring et de surveillance est établie par l'Andra en cohérence avec les préconisations de l'AIEA. Elle procède de cinq grands objectifs :

- démontrer la conformité aux exigences réglementaires et aux conditions de mise en service ;
- vérifier que le système de stockage et ses composants remplissent leurs fonctions, en conformité avec le dossier de sûreté ;
- vérifier que les hypothèses formulées et paramètres retenus pour l'évolution thermo-hydro-mécano-chimique du stockage et que les prévisions établies par les modèles sont conformes aux conditions réelles ;
- établir une base de données d'informations sur l'installation de stockage, le site et ses environs participant aux décisions futures liées aux périodes de construction, d'exploitation, de fermeture et d'après-fermeture, et aussi appuyer les décisions relatives à la mise à jour des concepts et des procédures de surveillance ;
- fournir des informations au public.

L'Andra a établi un schéma directeur pour répondre à ces objectifs, au regard des spécificités de Cigéo, et afin de répondre aux volets de la réversibilité (*cf.* section 6.2) et satisfaire la maîtrise de la sûreté dite passive (c'est-à-dire après fermeture). Elle s'appuie sur la notion d'élément important pour la protection (EIP) pour la sûreté en exploitation, et de composants importants pour la protection (CIP) pour la sûreté après fermeture. Ces composants importants sont la couche du COx, les scellements de galeries et des liaisons surface-fond, les conteneurs de stockage et la matrice des colis de déchets HA.

En particulier, le monitoring et la surveillance impliqueront le suivi de paramètres (déformation, température, humidité, composition de gaz, etc.) associés à l'évolution :

- des processus hydro-mécaniques affectant le COx en paroi d'ouvrages tels que les galeries, scellements et liaisons surface-fond ;
- des processus thermo-hydro-mécaniques affectant le COx au droit des alvéoles HA ;
- des processus hydro-mécano-chimiques contribuant au vieillissement des composants cimentaires ou métalliques (dégradation, corrosion…) des alvéoles et conteneurs MAVL et HA.

Cela implique qu'un état zéro du stockage et un domaine de fonctionnement normal soient définis. Pour l'état initial du COx, l'Andra s'appuie sur ses trente années d'études. Pour l'état initial des structures, composants et équipements de l'installation, l'établissement d'une recette correspondant à une vérification que la réalisation de chaque composant est conforme aux exigences spécifiées, qu'elles soient relatives à ses matériaux, sa conception ou son

fonctionnement sera réalisée. Cette recette permettra de disposer d'un état initial caractérisé du composant ouvragé.

La surveillance de Cigéo conduira à l'acquisition d'un nombre important de données, dont il faudra s'assurer de la gestion (acquisition, transfert, traitement, exploitation, archivage) pour répondre aux objectifs dictés. Les dispositifs simples et éprouvés (notamment au regard de leur durabilité) sont à privilégier. Il faut également veiller à ce que ces dispositifs, en lien avec leur mise en place ou leur mode de fonctionnement, ne viennent pas dégrader les performances des différents composants. Il est donc en particulier souhaitable que le nombre de données acquises soit dimensionné au juste besoin de surveillance de l'installation. La surveillance procédera de mesures systématiques, périodiques ou en continu de paramètres ou grandeurs physiques, pendant toute la durée de fonctionnement de l'installation Cigéo et après fermeture, pour vérifier que l'installation reste dans le domaine de fonctionnement défini et identifier d'éventuelles dérives de fonctionnement.

La Commission encourage la démarche de monitoring et surveillance de Cigéo de l'Andra pendant la phase d'exploitation. La Commission souligne que les informations obtenues seront utiles pour vérifier que l'évolution des composants ouvragés est conforme aux prévisions.

La Commission recommande que l'Andra précise sa stratégie de monitoring et de surveillance avant la mise en service du stockage.

6.5 Mémoire du stockage

La réglementation française, qui intègre les standards internationaux, requiert qu'après la fermeture de l'installation de stockage, la protection de la santé des personnes et de l'environnement repose sur des systèmes passifs, sans nécessiter d'intervention. Pour autant, il subsiste un risque d'intrusion humaine involontaire dans le stockage après fermeture. Pour réduire ce risque, une exigence de contrôle institutionnel, destinée à prévenir les intrusions, a été ajoutée dans le guide de sûreté. Cette exigence ne peut toutefois être respectée que si la mémoire du stockage est conservée après fermeture, pour une durée fixée à 500 ans dans le guide.

La mémoire du stockage repose principalement sur une mémoire technique, qui s'appuiera sur un fonds documentaire collecté, tout au long du cycle de vie de Cigéo, et archivé. L'Andra conduit des recherches sur la pérennité des supports sur lesquels seront conservés ces dossiers : supports papier, supports gravés, supports numériques, et éventuellement supports émergents.

En complément, l'Andra s'intéresse à d'autres dispositifs comme des processus de transmission intergénérationnelle des pratiques et des savoirs impliquant par exemple les arts, les médias, les lieux de partage du savoir… La coopération internationale peut également contribuer à la préservation de la mémoire par la constitution d'un fonds de mémoire commune. L'Andra est ainsi partie prenante de l'initiative « information, données et gestion des connaissances » (IDKM) lancée par l'AEN/OCDE, qui s'intéresse entre autres aux travaux de préservation de la mémoire.

Enfin d'autres études plus exploratoires sont conduites sur les apports possibles de l'anthropologie, de l'archéologie, de l'archivage numérique de longue durée, de la mémoire des organisations, de la création artistique ou encore de la conservation des informations sur Internet.

La Commission constate que la question de la mémoire du stockage est bien prise en compte par l'Andra qui conduit des recherches dans des directions variées et est active dans les groupes de réflexions internationaux sur le sujet. La Commission encourage l'Andra à poursuivre ces travaux.

96

7 Synthèse

La Commission a examiné en détail les fondements scientifiques sur lesquels s'appuie le dossier de demande d'autorisation de création de l'installation Cigéo, en particulier ceux sur lesquels l'Andra fonde son évaluation de la sûreté à long terme de l'installation de stockage. L'évaluation présentée par l'Andra suit la méthodologie internationale qui consiste à vérifier que des fonctions de sûreté sont respectées et à calculer le flux de radionucléides (exprimé en Becquerel) qui peut arriver à la biosphère selon divers scénarios d'évolution du stockage. La dernière étape consiste à évaluer la dose efficace (exprimée en Sievert) à l'individu critique. Elle s'appuie sur des connaissances et des scénarios spécifiques qui ne relèvent pas de l'expertise de la Commission.

Les piliers scientifiques

Le site d'implantation de Cigéo est correctement caractérisé par l'Andra sur le plan géologique, tant sédimentaire que structural. Les incertitudes sur la géométrie du Callovo-Oxfordien (COx) sont suffisamment réduites pour assurer la présence d'une garde argileuse saine d'au moins 50 mètres d'épaisseur au toit (au-dessus) et au mur (en dessous) des ouvrages de stockage. Les travaux réalisés par l'Andra, basés sur des expérimentations en laboratoire, *in situ* au laboratoire souterrain et des simulations numériques, fournissent une connaissance robuste et précise des propriétés du COx.

Au plan physico-chimique, les transferts d'espèces chimiques se feront essentiellement par diffusion. Le transfert de la majorité des espèces porteuses de la radioactivité, en particulier les cations, sera très fortement ralenti dans le COx, voire arrêté, en raison de leur interaction avec la matrice argileuse. Seuls quelques radionucléides atteindront les limites du COx après des centaines de millénaires. Ces propriétés favorables sont les fondements de la fonction de confinement du COx. Les autres propriétés relevant de la thermique ou de la mécanique ont fait l'objet de caractérisations détaillées. Il ressort de l'ensemble des études réalisées par l'Andra que la caractérisation du site est complète et que le COx assure l'ultime barrière de confinement de la radioactivité.

Le contexte hydrogéologique régional est décrit grâce à la connaissance abondante de la géologie du Bassin parisien. La modélisation effectuée par l'Andra restitue les grandes lignes de l'écoulement des eaux souterraines. La Commission rappelle que les aquifères ne font pas partie des composants du stockage et qu'ils ne remplissent pas de fonctions de sûreté. Les projections d'évolution du fonctionnement des aquifères sont néanmoins utilisées pour le calcul des transferts de radionucléides depuis les limites du COx jusqu'aux exutoires et pour le calcul de la dose qui est basé sur des scénarios convenus prescrits par la réglementation sur les évaluations de sûreté.

La Commission considère que les données hydrogéologiques permettent d'alimenter correctement les modèles de sûreté.

Les études réalisées pour sélectionner, formuler les matériaux et caractériser leur comportement ont permis à l'Andra d'acquérir les données suffisantes pour la modélisation à long terme de l'évolution du système de stockage. Bien que l'Andra ait choisi des matériaux courants, la disponibilité des matériaux identifiés pourrait changer au cours de l'exploitation du stockage. Pour remédier à l'évolution des disponibilités, l'Andra prévoit de poursuivre des

travaux scientifiques pour ménager une certaine flexibilité dans les choix de matériaux au moment opportun, ce que la Commission soutient.

Les données concernant le relâchement des radionucléides par les colis et leur migration ont été établies sur la base d'expériences conduites pendant plus de trente ans par une large communauté de chimistes en France et à l'étranger, et publiées. Les calculs des termes sources des quartiers HA et MAVL résultent de l'application de modèles, tant pour le relâchement des radionucléides par les colis que pour leur migration vers le COx sain. Tous conduisent à des valeurs majorantes dans le but d'être conservatif vis-à-vis des conséquences sur l'homme et l'environnement.

La Commission considère que l'évaluation des termes sources, données premières pour les calculs de relâchement et de migration, est soutenue par des études robustes sur l'altération des matériaux et la diffusion des radionucléides.

Pour ce qui concerne l'impact du stockage sur l'environnement, la Commission estime que l'étude d'impact est complète et convaincante. La démarche suivie par l'Andra pour simuler et prendre en compte l'impact des variations climatiques à court et à long terme sur la mise en œuvre du projet Cigéo est pertinente : elle a utilisé les résultats des travaux produits par la communauté internationale concernée par la recherche sur le climat.

Rôle des composants du stockage et leur fonctionnement

L'architecture du stockage, la conception des alvéoles HA et MAVL, des galeries et des liaisons surface-fond s'appuient sur la connaissance du comportement mécanique et thermique du COx et de la tenue des matériaux sélectionnés. Ces connaissances ont été acquises grâce à des mesures en laboratoire et *in situ* au laboratoire souterrain, et par la réalisation de prototypes.

La Commission estime que les dispositions constructives retenues par l'Andra sont de nature à maintenir l'intégrité des alvéoles bien au-delà de la fermeture du stockage.

La Commission considère que la méthodologie et les outils de calcul utilisés par l'Andra pour décrire le fonctionnement intégré du stockage et quantifier le transfert aux exutoires sont qualifiés et correctement appliqués. Les résultats présentés à l'appui de son évaluation de la sûreté à long terme sont robustes et scientifiquement fondés.

Pour estimer les capacités de Cigéo à assurer les fonctions de sûreté, l'Andra utilise une approche déterministe. Dans cette approche, pour tenir compte des incertitudes sur les paramètres mesurés des modèles et la survenue des événements, l'Andra utilise un double conservatisme, sur les modélisations d'une part et sur les valeurs de leurs paramètres d'entrée d'autre part. Les résultats présentés à l'appui de son évaluation de la sûreté à long terme sont robustes et scientifiquement fondés. Ils visent à donner une valeur majorée des impacts sur l'homme et l'environnement à l'Autorité de sûreté. En vue des optimisations futures du système, les évaluations déterministes pourront utilement être enrichies par des évaluations probabilistes pour tout ou partie du stockage, en particulier en définissant les fonctions de densité de probabilité des paramètres dans leur domaine de variation. La Commission observe par ailleurs que les incertitudes sont abordées dans le dossier indépendamment paramètre par paramètre. À l'appui de la future mise en service, les études pourraient être poursuivies en utilisant des méthodes de traitement multiparamétriques (du type Monte Carlo).

L'Andra a étudié deux options de stockage dans Cigéo pour les déchets bitumés : le stockage en l'état de ces déchets dans des alvéoles MAVL renforcés vis-à-vis du risque incendie ou le stockage des déchets issus de la neutralisation des bitumes dans des alvéoles MAVL non dédiés. Cette démarche fournit un exutoire à ces déchets quels que soient les résultats du programme de R&D encore en cours.

Questions transverses

La Commission a aussi examiné quelques questions transverses qui ne relèvent pas exclusivement de son expertise dans le domaine scientifique, mais qui relèvent des enseignements qu'elle a acquis au cours des trente ans durant lesquels elle a suivi les travaux sur le stockage géologique en France et à l'étranger.

La Commission estime que la proposition de l'Andra pour la stratégie de fermeture progressive est pertinente et prudente car elle évite les inconvénients de la coactivité entre des opérations industrielles de nature différentes tout en amenant certains quartiers en situation de sûreté passive bien avant la fermeture du stockage dans son ensemble.

La Commission estime que les critères de réussite de la Phipil proposés par l'Andra sont globalement pertinents. Elle recommande toutefois d'y ajouter la démonstration de la cadence atteignable par l'installation. En effet, cette cadence conditionne la durée d'exploitation qui sera nécessaire pour stocker l'inventaire de déchets prévu. Cette durée devra être compatible avec la durée de vie des infrastructures et des équipements.

L'Andra propose de poursuivre l'exploitation nominale de l'installation pendant l'instruction du rapport de fin de phipil, dans les conditions fixées par l'autorisation initiale de mise en service, limitée à la Phipil. La Commission appuie cette proposition afin que l'activité ne soit pas mise en sommeil pendant un laps de temps préjudiciable au maintien de la capacité opérationnelle de l'installation.

La Commission estime que la conception de l'installation Cigéo prend en compte les quatre composantes de la réversibilité : progressivité de la construction, adaptabilité de la conception, flexibilité d'exploitation, récupérabilité des colis déjà stockés pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du centre de stockage. La mise en œuvre de la récupérabilité, prise en compte dès le début de la conception par l'Andra, est approchée de façon rigoureuse et pragmatique.

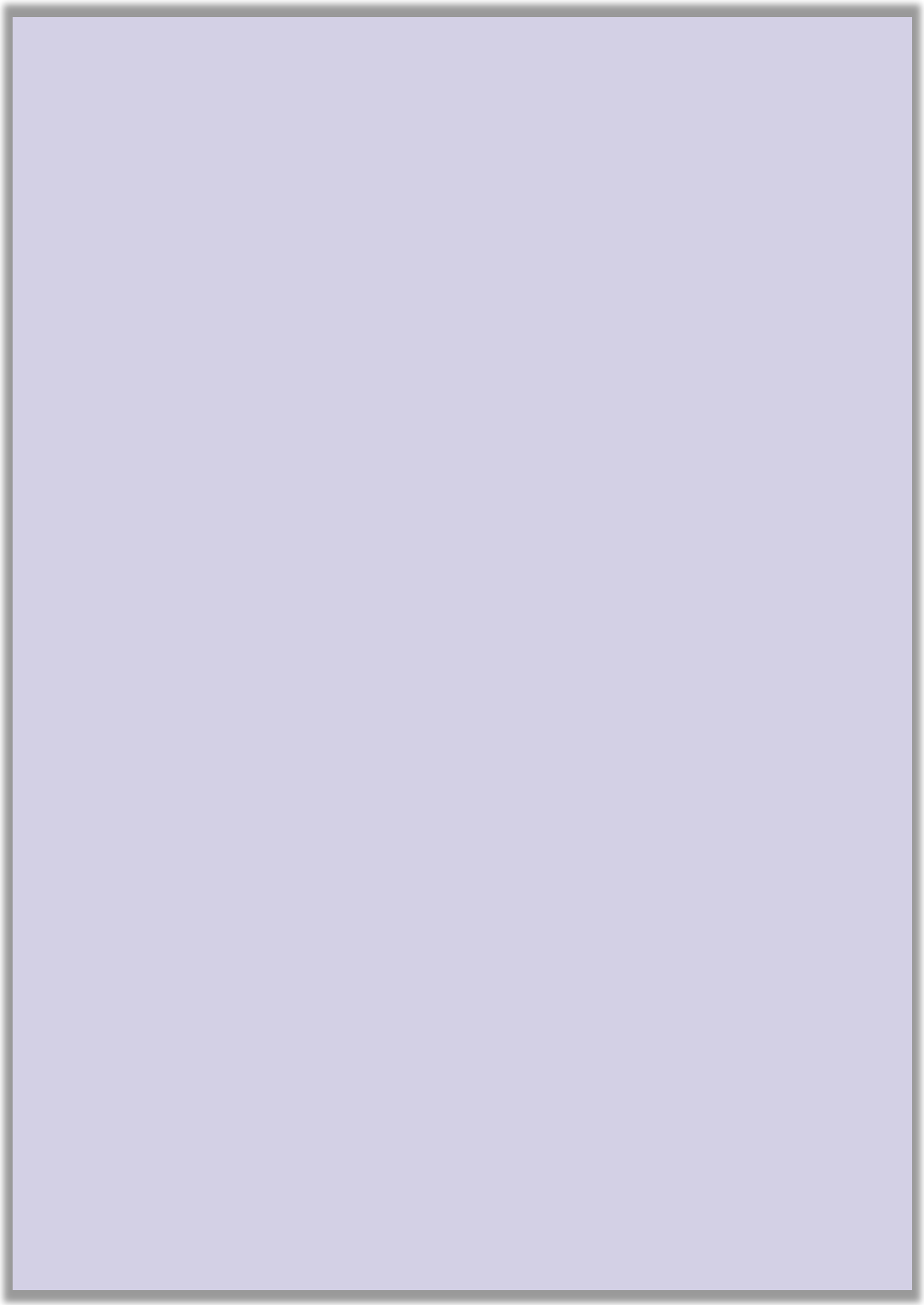
La démarche de monitoring et surveillance de Cigéo de l'Andra mérite d'être précisée avant la mise en service du stockage.

La Commission considère que les recherches conduites par l'Andra, exposées dans le dossier de DAC, ont permis d'élaborer un concept fiable pour un stockage géologique profond de déchets radioactifs HA et MA à vie longue. Le choix du site et l'ensemble des dispositions constructives sont de nature à isoler les déchets des phénomènes de surface et des actions humaines, et à limiter le transfert des radionucléides et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets jusqu'à la biosphère, en réponse aux deux principales fonctions de sûreté assignées à Cigéo.

L'ensemble des travaux décrits dans le dossier de DAC valide scientifiquement la conception de l'installation. La configuration technique du stockage sera, pour autant, appelée à évoluer au cours de la durée d'ordre séculaire qui séparera le décret d'autorisation de création de la loi

autorisant la fermeture de l'installation. Il est indispensable que toutes les évolutions du stockage Cigéo, qu'elles soient voulues ou subies, soit instruites avec rigueur.

En conséquence, la Commission recommande fortement de maintenir une capacité de R&D de haut niveau à l'Andra sur le stockage géologique profond, incluant des moyens d'expérimentation in situ, bien au-delà de la mise en service du stockage et de la Phipil.



Glossaire

AEN : agence de l'énergie nucléaire

AIEA : agence internationale de l'énergie atomique

Andra : agence nationale de gestion des déchets radioactifs

Areva : multinationale française du secteur de l'énergie entre 2001 et 2018 (désormais Orano)

ASN : autorité de sûreté nucléaire

ASNR : autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection

AVM : (colis de déchets HA vitrifié de l')atelier de vitrification de Marcoule

ATEX : atmosphère explosive

BIM : building information modelling

BIOCLIM : programme de modélisation de l'évolution future du climat piloté par l'Andra

BP : Bassin parisien (Bassin de Paris)

CEA : commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives

Cogema : compagnie générale des matières nucléaires entre 1976 et 2001

Cigéo : projet de Centre industriel de stockage géologique de déchets de haute et moyenne activité à vie longue (HA et MAVL)

CIP : composant important pour la protection (pour la sûreté après fermeture)

CNDP : commission nationale du débat public

CNE : commission nationale d'évaluation

CNRS : centre national de la recherche scientifique

COx : formation géologique (argilites) d'âge Callovo-Oxfordien

CU : combustible usé

De : coefficient de diffusion effectif

DAC : demande d'autorisation de création

DOS : dossier d'options de sûreté

EDF : électricité de France

EDTA : acide éthylène-diamine-tetra-acétique

EIP : équipement important pour la protection (pour la sûreté en exploitation)

ELS : état limite de sécurité

ELU : état limite ultime

FEB : fût d'enrobé bitumé

GEOAN : outil multicouche de modélisation

GTI : grès du Trias inférieur

HA : déchets de haute activité

HCTISN : haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire

HTO : eau tritiée (^3H_2O)

IDKM : Information, Data and Knowledge Management : informations, données et gestion des connaissances

IFEP : International Features, Events and Processes list for the deep geological disposal of radioactive waste de l'AEN/OCDE

IFP : institut français du pétrole (et des énergies nouvelles)

INB : installation nucléaire de base

IPSN : institut de protection radiologique et de sûreté nucléaire

IRSN : institut de radioprotection et de sûreté nucléaire

ITER : projet international dédié à la recherche sur les réacteurs à fusion contrôlée dans un tokamak

Kd : coefficient de distribution

LSF : liaison surface-fond

MAVL : déchets de moyenne activité à vie longue

MOX : combustible composé d'un mélange d'oxydes UO_2 et PuO_2 (« mixed oxides » en anglais)

MPa : mégapascal

MREA : matériau de remplissage de l'espace annulaire

OCDE : organisation de coopération et de développement économiques

ONDRAF : organisme national belge chargé de gérer les matières et déchets radioactifs

OPECST : office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques

Orano : multinationale française spécialisée dans les métiers du combustible nucléaire, de l'amont à l'aval du cycle (anciennement Areva)

PDE : plan directeur d'exploitation (de l'installation Cigéo)

Piver : (colis de déchets HA vitrifié) de l'installation pilote Piver de Marcoule

Phipil : phase industrielle pilote

R&D : Recherche et Développement

SEA : scénario d'évolution altérée

SEN : scénario d'évolution normale

SSC : stuctures, systèmes et composants

SSR-5 : prescriptions particulières de sûreté de l'AIEA

STEL : station de traitement des effluents liquides

THM : thermo-hydro-mécanique

THMC : thermo-hydro-mécano-chimique

UA : unité argileuse du Callovo-Oxfordien

UMo : (colis de déchets HA vitrifié) uranium molybdène

UP2 : usine de traitement du combustible usé à la Hague

USC : unité silto-carbonatée du Callovo-Oxfordien

UT : unité de transition du Callovo-Oxfordien

ZFC : zone de fracturation connectée

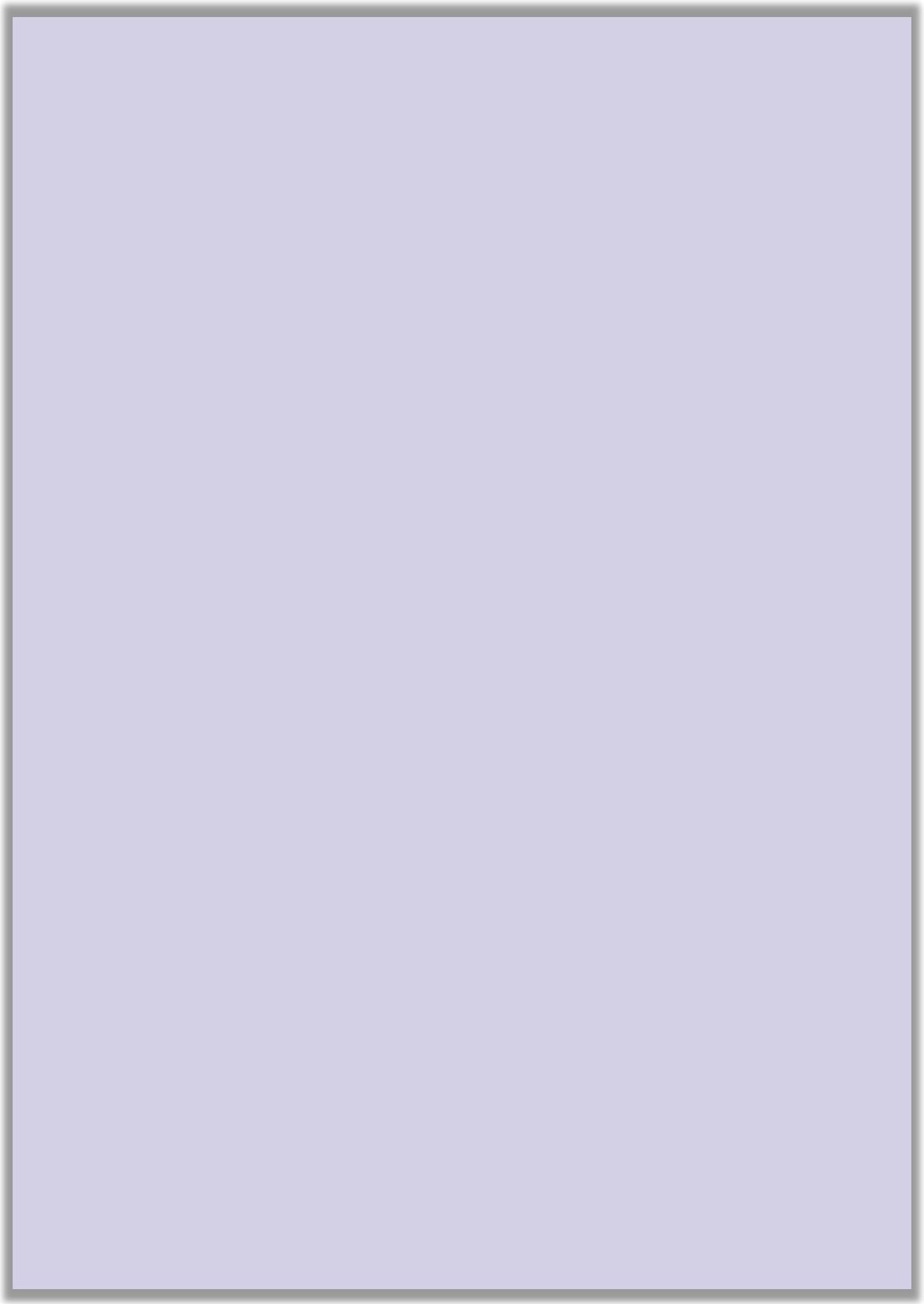
ZFD : zone de fracturation discontinue

ZIOS : zone d'implantation des ouvrages de stockage

ZIRA : zone d'intérêt pour des recherches approfondies

ZT : zone de transposition

104



Composition de la commission nationale d'évaluation

Saida LAÂROUCHI-ENGSTRÖM – présidente de la Commission nationale d'évaluation – ingénieur – conseillère en charge du développement du parc électronucléaire et de la stratégie en matière d'innovation – Vattenfall – Suède.

Michel DUBOIS – sociologue, directeur du GEMASS, Sorbonne Université.

Christophe FOURNIER – ingénieur général hors classe de l'armement (2S).

Philippe GAILLOCHET – directeur de service – Assemblée nationale (1977 – 2015).

Jean-Paul GLATZ – ingénieur en chimie nucléaire, ancien directeur de ITU-JRC, Karlsruhe.

Virginie MARRY – professeur des universités, chimie, Sorbonne université.

José Luis MARTINEZ – directeur de recherche au CSIC (institut de science de matériaux, Madrid, Espagne).

Jean-Paul MINON – directeur général de l'ONDRAF de 2006 à 2017 – Belgique.

Catherine NOIRIEL – enseignante-chercheuse, Géosciences & Environnement, Université de Toulouse.

Céline PERLOT-BASCOULES – professeur, Sciences des matériaux, Université de Pau et des Pays de l'Adour.

Christophe POINSSOT – directeur général délégué du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM).

Aude POMMERET – professeur en sciences économiques à l'Université Savoie Mont Blanc.

Conseillers de la CNE :

Jean-Claude DUPLESSY – président honoraire de la Commission nationale d'évaluation – ancien président de la Commission nationale d'évaluation – membre de l'Académie des sciences – directeur de recherche émérite au CNRS.

Robert GUILLAUMONT – membre de l'Académie des sciences – membre de l'Académie des technologies – professeur honoraire chimie-radiochimie - Université Paris Sud Orsay.

Emmanuel LEDOUX – directeur de recherche honoraire à l'école des mines de Paris.

Maurice LEROY – membre associé de l'Académie nationale de pharmacie – professeur honoraire - École européenne de chimie, polymères et matériaux de Strasbourg.

106

Listes des réunions thématiques organisées avec l'Andra

La Commission a participé à 17 réunions thématiques organisées avec l'Andra sur le contenu du dossier de DAC de l'INB Cigéo :

7 novembre 2023 : Hydrogéologie

12 mars 2024 : Mécanique et structure

12 mars 2024 : La phase industrielle Pilote (Phipil) et la réversibilité

12 mars 2024 : Capacités techniques

15 mars 2024 : Plateforme de simulation Cassandra et calculs des flux jusqu'aux exutoires

15 novembre 2024 : Caractérisation du milieu géologique sur la ZIRA

13 décembre 2024 : Échanges gazeux entre galeries et alvéoles HA

13 décembre 2024 : Tenue mécanique des alvéoles HA pendant la phase d'exploitation

13 décembre 2024 : Comportement des verres en situation de stockage.

13 décembre 2024 : Conceptualisation physique et numérique des scénarios de sûreté et outils

13 décembre 2024 : Durabilité des ouvrages souterrains

17 janvier 2025 : Surveillance dont la R&D sur les fibres optiques et capteurs en général

17 janvier 2025 : Marges de sûreté

14 février 2025 : Représentativité des alvéoles témoins

14 février 2025 : Phase industrielle pilote - Objectifs et critère de réussite - volet technique

19 septembre 2025 : Les marges de sûreté en après-fermeture pour les alvéoles MAVL

14 octobre 2025 : Surpression dans le COx

Composition du dossier de demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base Cigéo

Pièce 0 – Présentation non technique

Pièce 1 – Identification de l'exploitant

Pièce 2 – Nature de l'installation

Pièce 3 – Carte au 1/25 000e de localisation de l'installation

Pièce 4 – Plan de situation au 1/10 000e indiquant le périmètre proposé

Pièce 5 – Plans détaillés de l'installation au 1/2 500e

Pièce 6 – Etude d'impact du projet global Cigéo

Pièce 7 – Version préliminaire du rapport de sûreté

Pièce 8 – Etudes de maîtrise des risques

Pièce 9 – Capacités techniques de l'exploitant

Pièce 10 – Capacités financières de l'exploitant

Pièce 11 – Justification de la maîtrise foncière des terrains

Pièce 12 – Servitudes et demande de périmètres de protection et de droit exclusif

Pièce 13 – Plan de démantèlement, de fermeture et de surveillance

Pièce 14 – Bilan de la participation du public à l'élaboration du projet du centre de stockage Cigéo

Pièce 15 – Emission de gaz à effet de serre

Pièce 16 – Plan directeur de l'exploitation

Pièce 17 – Informations juridiques et administratives

Pièce 18 – Avis émis sur le projet

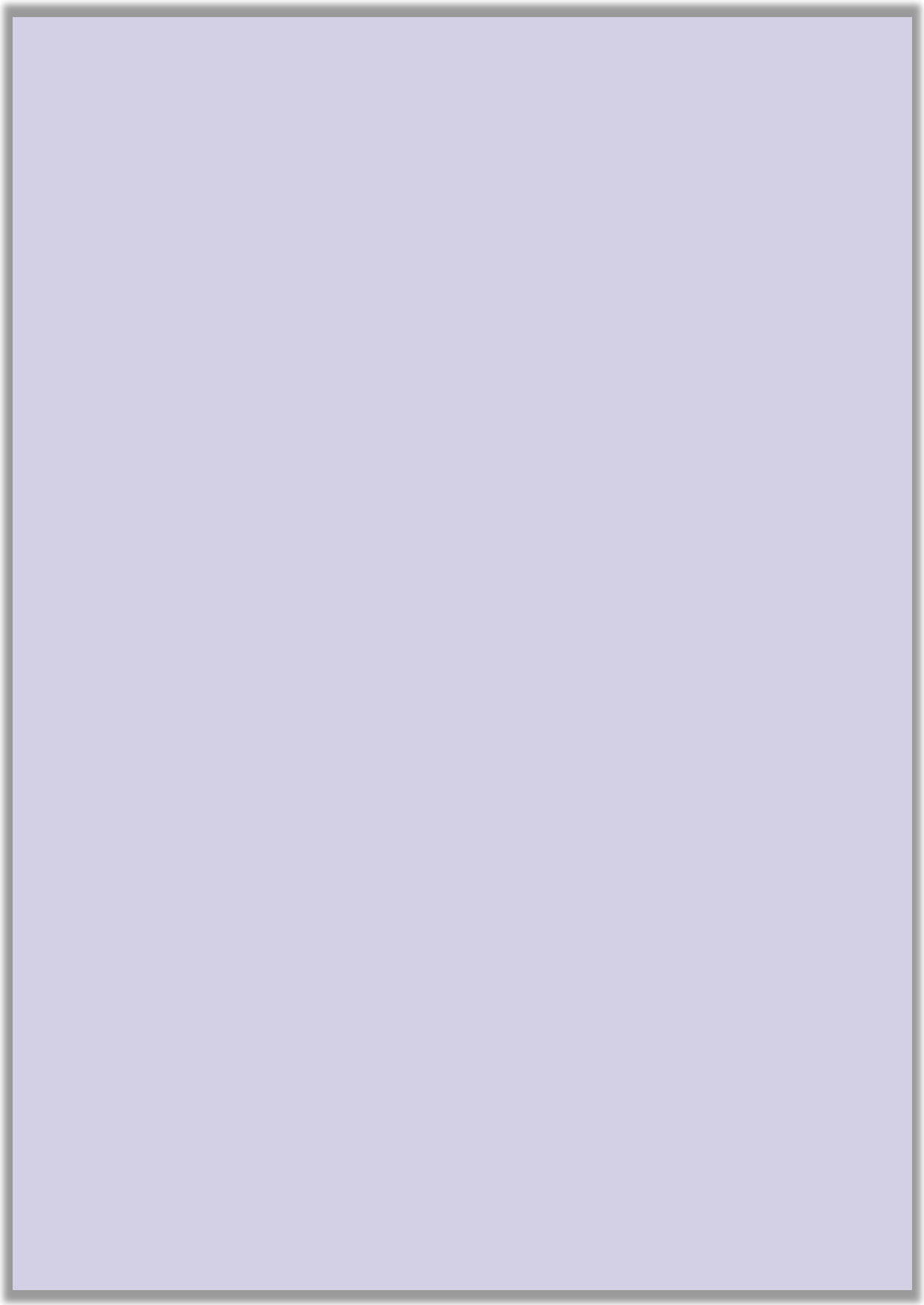
Pièce 19 – Version préliminaire des spécifications d'acceptation de colis

Pièce 20 – Plan de développement de l'installation de stockage Cigéo

Pièce 21 – Guide lecture du dossier

Pièce 22 – Glossaire et acronymes

110



Annexe I. Géologie

I.1 Géométrie de la formation géologique

Le secteur de Meuse Haute-Marne fait partie du Bassin de Paris, qui est un grand ensemble sédimentaire d'âge Mésozoïque (ère secondaire) à Cénozoïque (ère tertiaire), qui repose sur le socle hercynien (ère primaire). Il est bordé à l'est par le massif des Vosges, au nord-est par le massif des Ardennes, au sud par le Morvan et le Massif central et à l'ouest par le Massif armoricain. Sa morphologie se présente sous la forme d'une cuvette, avec une puissance (épaisseur) des dépôts plus importante en son centre, qui atteint jusqu'à 3200 m à l'aplomb de la Brie. Les formations les plus récentes se retrouvent à l'affleurement en son centre, alors que les plus anciennes affleurent en auréoles sur les bordures.

La formation du Callovo-Oxfordien (COx) fait partie de cette pile sédimentaire du Bassin de Paris. Il s'agit d'une formation d'argilites et de marnes, âgée d'environ 160 millions d'années qui est constituée d'un ensemble de dépôts sédimentaires détritiques fins de type marin. Elle affleure sur les bordures ouest, sud et est du Bassin de Paris.

En Meuse Haute-Marne, la formation est subdivisée en trois unités, sur la base de leur composition minéralogique. On trouve de bas en haut sur la verticale : l'unité argileuse (UA) - la plus homogène-, l'unité de transition (UT) et l'unité silto-carbonatée (USC). La composition minéralogique est en moyenne de 42 % d'argiles (illites, micas, interstratifiés illite-smectite, kaolinite et chlorite), de 32 % de carbonates (ankérite, calcite et dolomite), de 23 % de silts (quartz et feldspaths) et 3 % de minéraux annexes dont 1 % de pyrite (sulfure de fer). La formation contient également 1 % de matière organique. La composition lithologique et minéralogique du COx est ainsi bien caractérisée tant horizontalement que verticalement et possède une bonne homogénéité spatiale sur la zone de transposition (ZT).

Le pendage moyen des couches est de 1° vers le NW. Au niveau de Cigéo, les forages montrent qu'elle se trouve à environ 500 m de profondeur et que sa puissance (épaisseur) est comprise entre 130 et 160 m. L'incertitude sur l'épaisseur du COx sur l'ensemble de la ZIOS est issue de l'interprétation et de la conversion temps de trajet/profondeur de la position de trois réflecteurs sismiques (surfaces) LS0, LS1, et LS2 identifiés dans la formation. Elle est de ±13 m avec un intervalle de confiance à 90%.

I.2 Objets structuraux dans le bloc 3D de la ZIRA

L'Andra a mené les études permettant de caractériser la structure géologique de la ZIRA sur 2 000 m d'épaisseur (depuis la surface jusqu'à la base du Trias). Pour cela, elle s'est appuyée sur un ensemble d'éléments : histoire géologique régionale, données de forages, profils sismiques 2D existants (hérités des prospections pétrolières du Bassin de Paris), ainsi que des lignes sismiques 2D sur la ZT (recoupant la ZIRA) et des campagnes de sismique 3D (bloc sismique sur la ZIRA associée à de la sismique réfraction 2D et sondages carottés des formations de surface) qu'elle a fait réaliser. Le maillage du bloc sismique 3D est de 10 m, ce qui est exceptionnellement dense.

Ces données ont été traitées pour le dossier de DAC. Pour le bloc sismique 3D, ce traitement intègre le filtrage des données, l'identification et le recalage des réflecteurs aux données de forage (y compris le forage EST433 qui atteint la base du Trias), la comparaison avec les lignes sismiques 2D, et une correction des effets de surface (appelée correction statique).

La sismique est une méthode indirecte d'imagerie du sous-sol, basée sur la réflexion ou la réfraction d'ondes élastiques au niveau d'interfaces entre couches géologiques présentant un fort contraste de propriétés physiques (densité, élasticité). Ces interfaces sont appélées réflecteurs. Les ondes sismiques sont émises par une ou plusieurs sources, dont le temps de trajet (temps double de l'aller-retour surface-réflecteurs) est déterminé grâce à des récepteurs placés au sol.

L'identification des réflecteurs dans les logs de forage, à une profondeur bien définie, et le pointage des réflecteurs sur les données de sismique permet en premier lieu de reconstituer l'image de la géométrie des couches géologiques sur une carte « équivalent temps double de trajet des ondes ». La projection sur un plan horizontal d'un réflecteur aboutit à une carte d'arrivée en temps sur laquelle figurent des isochrones (lignes d'égal temps de trajet des ondes) : c'est une image de la position du réflecteur en temps.

Les données de forage et les lignes sismiques 2D aident ensuite à déterminer un modèle de vitesse de propagation des ondes dans les différentes couches géologiques (vitesse=distance/temps) pour obtenir l'image de la géométrie des formations géologiques sur une carte « profondeur ». La projection sur un plan horizontal d'un ou plusieurs réflecteurs aboutit à des cartes de la position (altitude NGF ou profondeur) du réflecteur ou de l'épaisseur des formations géologiques entre deux réflecteurs.

Le temps de trajet des ondes et le signal sismique sont influencés par la topographie de surface (qui n'est pas plane) et par la présence de formations de surface plus ou moins altérées (pour lesquelles les vitesses et donc les temps de propagation des ondes sont non uniformes). L'interprétation du signal sismique et de la position des réflecteurs en temps s'en trouve perturbée et il est nécessaire d'appliquer une correction dite statique afin de supprimer ces effets. Des profils de sismique réfraction 2D associés à la réalisation de sondages carottés permettant une description détaillée des formations superficielles aident à cette correction.

Ainsi, l'Andra dispose d'un jeu de données détaillé et conséquent sur la zone d'intérêt et a bénéficié des meilleures pratiques d'ingénierie pour les différentes étapes de traitement de ces données.

L'analyse des structures se base sur les cartes « équivalent temps double de trajet des ondes » après les corrections statiques. Deux zones de discontinuités apparaissent sur les données sismiques :

- des structures linéaires orientées dans la formation du Dogger,
- une structure dépressionnaire au sommet du Trias.

Les structures orientées dans la formation du Dogger forment des linéaments d'orientation N120°E, qui affectent les horizons situés au-dessus du réflecteur LS08 (mur du Dogger). Ces structures ont été interprétées comme des corps récifaux, ce qui est confirmé par des données de forages Andra atteignant cette formation et par la comparaison avec les structures sédimentaires observées à l'affleurement à une trentaine de kilomètres plus à l'Est. Ces corps récifaux se développent sur une trentaine de mètres d'épaisseur, au sein du Bajocien (vers

950 m de profondeur). La présence de ces corps récifaux introduit une hétérogénéité des vitesses de propagation des ondes, modifie les isochrones et donc le positionnement des réflecteurs sous-jacents. Cet effet sur les isochrones s'atténue avec la profondeur. La cohérence entre la sismique (méthode indirecte) et les observations directes (forages dans la formation et observations à l'affleurement) conforte l'interprétation.

Dans la formation du Trias, des structures hétérogènes sont observées au niveau du réflecteur situé vers le sommet du Trias supérieur (LS11 dolomie de Beaumont, vers 1 400 m de profondeur), alors que les réflecteurs sus-jacent (LS10 à base du Lias, 140 m au-dessus) et sous-jacent (LS12 Lettenkohle, 320 m en dessous) sont bien continus. Plusieurs interprétations sont actuellement proposées au regard des connaissances géologiques.

Cette structure en dépression peut être interprétée comme résultant de la dissolution précoce (contemporaine de la sédimentation de la formation des Grès à roseaux déposés à la fin de l'épisode salifère) de faisceaux de sel de la formation des Marnes Irisées du Keuper (Trias supérieur), comme observé sur des données de forages réalisés dans les secteurs de Nancy et Saint-Dizier recoupant ces formations. Le fait que la déformation affecte également la Dolomie de Beaumont dont le dépôt est postérieur à celui des Grès à roseaux, peut s'expliquer par une compaction Δh plus grande des formations marneuses aux endroits où elles sont venues combler les vides créés par la dissolution du sel (parce que leur épaisseur h_0 est plus importante ; compaction Δh = taux de compaction × h_0). Ce phénomène n'est plus observé à la base du Lias, et n'a donc aucun effet sur le COx.

Cette structure pourrait également être interprétée comme liée à la présence de failles syn-sédimentaires orientées nord-sud, de rejet 20 m. L'hypothèse de telles failles est cependant peu compatible avec les données observables comme les relations entre longueur d'une faille, extension et rejet (établies sur des bases statistiques à l'échelle mondiale). Par ailleurs, l'orientation relevée N-S ne permet pas de les associer à d'autres failles du secteur, et le contexte géodynamique (extension E-W) au Trias supérieur au moment de leur présupposée formation n'est pas propice à la formation de failles d'orientation N-S. Notons que dans l'hypothèse d'une faille, cette dernière serait très ancienne (âge triasique supérieur, soit plus de 200 Ma), d'extension verticale limitée (rejet de 20 m), et n'aurait jamais rejoué depuis.

Le traitement et l'interprétation des données sismiques a évolué au cours des travaux de l'Andra. Le premier traitement de la sismique 3D, réalisé lors de l'élaboration du dossier 2011, n'incluait pas les corrections statiques, par manque de temps avant dépôt du dossier.

A cette époque, une anomalie au niveau des isochrones avait été observée dans le COx et interprétée comme une flexure (pli) d'une trentaine de mètres d'amplitude verticale et d'extension kilométrique. Elle était également perceptible sur les autres réflecteurs situés au-dessus du COx, ce qui n'était pas cohérent avec une explication géologique structurale ou sédimentaire qui aurait affecté la pile sédimentaire à partir du dépôt du COx. En l'absence d'incidence perçue sur le COx, l'Andra n'avait pas jugé utile de revoir rapidement le traitement des données. Depuis, les corrections complètes des statiques ont nettement amélioré la représentativité des isochrones. La comparaison entre les cartes de temps corrigées et non corrigées, appelée carte des statiques primaires, a mis en évidence *a posteriori* les formations de surface responsables de cet "effet de flexure" telles que les vallées de l'Orge et de l'Ornançon, et la présence locale de lentilles de sable valanginien (observés sur les données de sondages carottés associés à la sismique réfraction 2D).

Notons que les corrections statiques dans le traitement 2018 n'affectent pas la géométrie de structures décrites dans le Trias et le Bajocien (*cf.* 4.2.2) et donc déjà identifiées en 2011.

I.3 Sismicité

Cigéo est situé sur la bordure Est du Bassin de Paris, qui est classé en zone de sismicité très faible, la majorité de l'activité sismique étant concentrée plus à l'est (à 70 km environ) à la limite entre le domaine sédimentaire et le socle cristallin du massif des Vosges. Les approches déterministe et probabiliste, qui sont basées sur les séismes historiques, le catalogue de sismicité, les modèles de failles et de contextes crustaux, et les modèles de propagation et d'atténuation des ondes, ont permis d'évaluer l'aléa et de modéliser des spectres de réponse sismique avec des périodes de retour de 10 000 à 60 000 ans. L'enveloppe des spectres reste inférieure au séisme forfaitaire de 0,1 g à fréquence infinie imposé par le RFS n°2001-01, que l'Andra majore à 0,39 g à 10 Hz, et à 0,19 g à fréquence infinie, pour le dimensionnement des ouvrages en phase d'exploitation.

I.4 État de contraintes naturelles

Les mesures réalisées par l'Andra sur les différents forages de reconnaissance ont permis de déterminer l'état des contraintes naturelles dans les différentes formations. La contrainte horizontale n'est pas isotrope. Dans le COx, la contrainte (principale) horizontale majeure σ_H est orientée à N153°E ± 11°. Sa valeur mesurée est d'environ 14,5 ±1 MPa à 490 m de profondeur. La contrainte horizontale mineure σ_h varie entre 8,0 MPa (sommet de l'USC) et 14,7 MPa (base de l'UA). A 490 m de profondeur, elle est de 12,0 ± 0,5 MPa. Sa variation n'est cependant pas linéaire avec la profondeur.

Sur le plan mécanique, l'état des contraintes *in situ* du COx sur la ZT apparait homogène et conforme à ce que l'on peut attendre sur le Bassin de Paris. L'existence d'une anisotropie horizontale de l'ordre de 1,3 est cependant surprenante dans une roche capable de fluer.

La contrainte verticale σ_V est d'environ 12 MPa à 500 m de profondeur. Le rapport σ_h/σ_V est proche de 1 dans le COx, avec la contrainte verticale pouvant devenir la contrainte principale mineure dans certains horizons.

I.5 Modèle d'évolution tectonique et climatique

Le modèle d'évolution tectonique, basé sur le contexte géodynamique de la région (historique, déformation, fracturation, sismo-tectonique), et prenant en compte les grands accidents tectoniques, les zones de déformations beaucoup plus diffuses, les vitesses de déplacement et les régimes de déformation récente, et l'activité sismique et paléosismique, montre que Cigéo restera dans une zone tectonique très stable durant le prochain million d'années. La vitesse de déformation est faible ($< 10^{-11}$·an^{-1}). Aucune faille majeure (rejet > 10 m et extension déca-km), faille secondaire (rejet > 5 m et extension pluri-kilométrique) ou structure significative (rejet > 2-4 m) n'a été observée dans le COx et les formations encaissantes.

Le modèle d'évolution géomorphologique, intégrant à la fois des effets tectoniques et climatiques (dont un scénario de perturbation anthropique liée aux émissions de CO_2)

impactant l'état de surface (couverture végétale, sol), la topographie et le réseau hydrographique et intégrant les effets de la karstification, du pergélisol, des vitesses d'érosion (plateaux et vallées) et de dépôts fluvio-glaciaires conduit à évaluer entre 10 et 50 m la profondeur maximale d'incision des vallées et jusqu'à 25 m l'épaisseur d'ablation des plateaux sur le prochain million d'années. Cette évolution géomorphologique aura pour conséquence une accentuation du découpage des formations superficielles des calcaires du Barrois, l'extension des affleurements des marnes du Kimméridgien, et la mise à l'affleurement à l'échéance 400-500 ka des calcaires de l'Oxfordien en vallée de l'Ornain qui devient un exutoire local de cet aquifère.

116

Annexe II. Hydrogéologie

L'Andra décrit et justifie les concepts, les méthodes, et les outils utilisés pour modéliser les écoulements souterrains à l'échelle du Bassin parisien et celle du secteur incluant la ZT du site Meuse Haute-Marne. Elle a mené un travail considérable réalisé en collaboration avec plusieurs partenaires (Institut Français du Pétrole, Université de Neuchâtel, Golder Associates).

L'objet de ces études est d'identifier au final les voies de transfert potentielles des radionucléides au sein du système aquifère. Ces résultats sont essentiels pour paramétrer le volet transfert de l'analyse de sûreté. La démarche finale aboutit à un modèle de référence à l'actuel, dit intégré en ce qu'il réunit en seul outil de calcul un modèle régional du Bassin de Paris (BP) et un modèle de secteur plus précis. Le modèle de référence s'emploie à reproduire la situation hydrogéologique actuelle ; il est ensuite utilisé pour décrire son évolution sur un million d'années sous l'effet de mécanismes géodynamiques internes (tectonique, eustatisme) et externes (érosion sous deux options climatiques).

L'Andra a bien compris l'intérêt d'une approche hydrogéologique régionale dont la sophistication a augmenté progressivement. Cette démarche est le résultat d'une longue évolution depuis le dossier 2005 appuyée par les évaluateurs notamment l'IPSN (devenu IRSN)

La démarche globale de construction du modèle et de modélisation hydrogéologique s'appuie sur les données et concepts suivants :

- les données de base sont d'abord la géométrie des couches géologiques (à une échelle litho-stratigraphique) du Bassin de Paris en distinguant les formations aquifères (sables, grès, calcaires) et les formations semi-perméables (marno-calcaires, marnes, argilites, formations salifères). Trois stades d'élaboration de ces données jalonnent les modèles 2015 (rapport argile 2015, rapport DOS 2019 et 2020) pour le dossier DAC. Cette évolution est marquée par la prise en compte progressive de l'intégralité des données de forages historiques sur le bassin, des profils sismiques détaillés sur la ZT puis des nouveaux forages de l'Andra. Les données sont incluses (archivées) dans la géométrie du maillage non structuré support du modèle hydrogéologique de référence en éléments finis. Les améliorations finales de la morphologie des couches portent essentiellement sur la description des niveaux poreux de l'Oxfordien ;
- une nouveauté importante est la prise en compte dans le modèle 2020 des failles majeures à l'échelle du Bassin de Paris et des failles mineures sur la ZT. Ces failles sont considérées initialement comme perméables ou imperméables suivant leur orientation par rapport à la direction de contrainte maximale régionale et ce comportement est ensuite critiqué par l'aptitude du modèle à reproduire la situation piézométrique. Le modèle hydrodynamique assimile numériquement les failles sous forme d'éléments joints 2D ou 1D ;
- le modèle de référence fonctionnant en régime permanent, les paramètres hydrogéologiques sont réduits à la perméabilité des formations. On trouve peu de précisions dans la DAC sur la méthode d'acquisition ; il semble que les valeurs proviennent de données de forage (majoritairement sur la ZT) traitées par des outils de géostatistique et du calage des modèles hydrogéologiques successifs ;

- le calcul du transfert de solutés en régime transitoire nécessite la connaissance de la porosité cinématique. La porosité totale des formations est d'abord recherchée selon les mêmes méthodes que pour la perméabilité ; la porosité cinématique est choisie à 40% de la valeur de la porosité totale. Il n'y a pas de possibilité de calage de cette grandeur par ajustement du modèle de transport, ce qui exigerait des connaissances sur la concentration d'un traceur naturel dont on connaisse le comportement. Ce point est évoqué mais pas exploité ;
- les conditions aux limites sont d'une part des niveaux de drainage par le réseau hydrographique identifié, ce qui pose peu de problème d'acquisition (car ce réseau est simplifié à l'échelle régionale et détaillé à l'échelle du secteur), d'autre part les débits d'infiltration dans le sol où les différentes formations affleurent. Cette question est beaucoup plus complexe et son traitement est peu explicite dans le rapport. On comprend qu'un bilan hydrologique est établi en fonction de la répartition spatiale des pluies par sous-bassin sur l'ensemble du domaine, et ajusté sur les débits des rivières. Les valeurs de perméabilité des zones affleurantes des aquifères sont alors calées pour reproduire le niveau piézométrique moyen observé dans les forages disponibles qui est contraint par le niveau des rivières. Cette approche génère des incertitudes sur le débit circulant dans les aquifères superficiels mais les conséquences sont limitées pour les aquifères profonds car ils sont alimentés par drainance à partir des aquifères superficiels et cette alimentation dépend de la capacité d'absorption liée à leur transmissivité et non pas du bilan hydrique en surface qui est globalement excédentaire dans les conditions climatiques du bassin. En revanche, le bilan hydrique important est celui des calcaires du Barrois sur la ZT car il représente une ressource en eau exploitée localement, et doit donc être pris en compte dans l'étude d'impact. L'Andra s'est donné les moyens d'identifier le fonctionnement du barrois au moyen de mesures locales ;
- les paramètres de calage sont la piézométrie mesurée à l'échelle régionale et surtout localement dans les forages de l'Andra. Une amélioration importante a été obtenue sur la piézométrie du Dogger entre le modèle 2019 et le modèle actuel grâce à de nouveaux forages qui ont permis de comprendre le rôle des failles de la Marne sur les directions d'écoulement de cet aquifère ;
- des données de nature tectonique et climatique servent à construire les scénarios d'évolution à long terme sur 1 million d'années. Les données tectoniques, issues d'études sur les mouvements passés, sont basées sur le tracé du réseau hydrographique et la datation des terrasses alluviales du secteur. Les données climatiques font l'objet de deux scénarios distincts : d'une part une évolution naturelle du climat actuel prenant en compte la concentration en CO_2 atmosphérique actuelle et les cycles astronomiques de Milanković, d'autre part une évolution du climat perturbée par les activités anthropiques consistant à consommer toutes les réserves d'énergie carbonée fossiles, se traduisant par un climat sub-tropical persistant pendant 500 000 ans avant un retour des cycles astronomiques. Ces conditions tectoniques et climatiques permettent de déterminer les vitesses d'érosion des plateaux et d'incision ou d'alluvionnement des rivières et également d'évaluer la possibilité d'installation d'un pergélisol. Ces données sont importantes car elles déterminent la date d'atteinte et la localisation des exutoires par des espèces chimiques en solution issues du stockage ;
- ces données alimentent des modèles déterministes décrivant le transfert de chaleur, de l'eau et des solutés en milieu poreux. Trois générations d'outils ont été utilisés : un premier modèle (SimuScoop de l'IFP) basé sur une méthode de résolution

mathématique des équations par différences finies et fonctionnant sur une grille multicouche structurée en mailles carrées ; un second outil quasi tridimensionnel (Ground Water de l'Université de Neuchâtel) basé sur la méthode des éléments finis sur un maillage prismatique ou pyramidal non structuré pour le calcul hydrodynamique ; enfin, un troisième outil multicouche (GEOAN) de résolution par méthode des différences finies pour le calcul du transport de solutés. Des outils géostatistiques sont également utilisés pour attribuer les données spatialisées de porosité et perméabilité aux mailles des modèles.

La modélisation hydrogéologique de secteur et les observations associées ont mis en évidence des configurations hydrodynamiques locales influant sur les écoulements.

La faible différence de charge hydraulique entre les deux formations aquifères de l'Oxfordien et du Dogger, qui sont les encaissants du COx, ainsi que la faible perméabilité du COx, conduisent à conclure que les écoulements dans ces deux aquifères sont très faibles, ce qui les rend hydrauliquement indépendants, malgré l'existence de cette faible drainance potentielle verticale ascendante et descendante dans le COx. La drainance est verticale ascendante dans la partie nord de la zone d'emprise de Cigéo, avec un gradient de charge hydraulique de -10 %, alors que dans la partie sud la drainance est verticale descendante, avec un gradient de charge hydraulique de 4 %. L'Andra a montré que cette situation était sans influence sur les performances globales du système de stockage.

Les failles parallèles aux contraintes tectoniques majeures et la zone de fracturation diffuse sont considérées comme hydrauliquement actives (faille de la Marne, Faille de Poisson), alors que les failles perpendiculaires jouent plutôt le rôle de barrière hydraulique (faille de Gondrecourt, faille de Poisson). Ce rôle hydrodynamique des failles permet d'expliquer la carte piézométrique de secteur dans le Dogger.

Selon l'Andra, l'amélioration du modèle hydrogéologique a permis de réduire significativement les incertitudes grâce à l'augmentation de la puissance de calcul, requise pour prendre en compte des concepts ou mécanismes plus complexes. Du travail sera encore fait selon cette méthodologie par calage sur de nouvelles données de forages à venir. La question des incertitudes sur l'évolution à long terme est différente : elles proviennent d'une part des incertitudes sur le modèle hydrogéologique, qui devraient être réduites avec son amélioration, d'autre part de la construction des scénarios d'évolution géodynamiques. L'Andra pense que des améliorations sont possibles en suivant l'évolution des modèles climatiques et considère qu'elle a utilisé des scénarios enveloppes et encadre ainsi la gamme des incertitudes.

S'agissant du calcul de l'écoulement et du transport de solutés en milieu poreux, l'Andra a mobilisé les meilleures techniques existantes. Les méthodes numériques des codes de calcul sont éprouvées. On note que les outils de calcul ont évolué pendant la durée de l'étude pour s'adapter aux particularités du sujet, par exemple le rôle des failles et la nécessité d'une échelle variable de représentation entre le domaine régional et le domaine local.

120

Annexe III. Propriétés du COx

III.1 Propriétés thermiques

Le transfert de chaleur est dominé par la conduction. Ce mode de transfert est décrit par la loi de Fourier dont le paramètre est la conductivité thermique. La conductivité thermique des argilites est comprise entre $1,3 \pm 0,2$ et $2,1 \pm 0,3$ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, typique des roches argilo-marneuses stratifiées. Elle présente un degré d'anisotropie d'environ 1,3 lié au dépôt sédimentaire : pour un flux de chaleur donné, la température augmente plus rapidement suivant le plan de stratification que suivant la direction verticale.

Le principal terme source de chaleur dans le COx sont les colis de déchets HA dont la puissance thermique maximale à réception dans le stockage est de 500 W par colis.

La répartition de colis dans le quartier HA est telle que la puissance thermique initiale transmise au COx est de 2 à 2,5 $W \cdot m^{-2}$ ce qui limite l'élévation de température à 80°C en champ proche des alvéoles HA pendant 10 à 15 ans et à 50°C au bout de 400 à 500 ans à quelques dizaines de mètres.

Le gradient de température reste inférieur à 2°C·m^{-1}, sauf sur le premier mètre (20°C·m^{-1}).

L'Andra a évalué l'effet de l'application d'une charge thermique conduisant à une température de 90°C aux parois du COx par des expériences sur échantillons et au laboratoire souterrain. La phase de chauffe entraîne une augmentation des pressions interstitielles dans la roche de 0,3 à 0,5 MPa·K^{-1} (pressurisation thermique), due à la différence de dilatation thermique entre l'eau et la roche, qui se dissipe ensuite par diffusion. Ce phénomène traduit un comportement thermo-poro-visco-plastique du milieu ; il peut être modélisé de manière enveloppe par une approche thermo-poro-élastique qui en majore les effets.

La dilatation thermique qui est différente, à plus petite échelle, suivant les minéraux peut entraîner un endommagement diffus de la roche, qui est cependant jugé négligeable. Cependant, la variation des contraintes locales et l'augmentation des surpressions interstitielles liées à l'élévation transitoire de la température dans le COx induisent une évolution des contraintes effectives, ce qui peut résulter en un endommagement localisé (fractures).

Ces effets thermiques jouent un rôle sur le chargement mécanique (déformation radiale) du chemisage des alvéoles par augmentation de la convergence sous l'effet de l'expansion thermique et de l'augmentation des vitesses de convergence.

De plus, la modification du champ de contrainte effective liée à l'augmentation de température peut être à l'origine d'endommagement de la roche en champ lointain. Les calculs montrent que cet effet est maximum à l'entraxe entre deux alvéoles et peut être évité en maintenant une distance de 50 m entre elles.

III.2 Propriétés hydrodynamiques

La porosité totale des argilites du COx est en moyenne de 18 %, avec une très grande majorité de pores de taille comprise entre 3 et 20 nm. Cette porosité est d'origine mixte, interparticulaire entre les grains minéraux et interfoliaire au sein de la fraction argileuse. Toute la porosité ne participe pas à l'écoulement ni au transfert des espèces chimiques.

On distingue la porosité accessible qui est la fraction de la porosité totale dans laquelle une espèce chimique peut pénétrer. Sa valeur varie avec la nature de l'espèce. Au moyen d'expériences de diffusion, l'Andra a établi que la porosité accessible était proche de la porosité totale pour les espèces neutres, comme la molécule d'eau tritiée, et les espèces cationiques, alors qu'elle était plus réduite pour les espèces anioniques. Ce comportement est lié à la répulsion électrostatique des anions à proximité de la surface des minéraux argileux qui est chargée négativement dans les conditions physico-chimiques du COx. Il est appelé exclusion anionique.

La porosité cinématique représente la part de la porosité totale dans laquelle l'eau porale peut circuler sous l'effet de gradients de charge hydraulique et donc transporter des solutés par convection. Elle est de l'ordre de 40 à 60 % de la porosité totale.

La perméabilité ou conductivité hydraulique du COx apparaît variable mais assez uniforme dans sa variabilité sur l'étendue de la formation. Les différentes mesures (252) réalisées en forages, en laboratoire de surface et en laboratoire souterrain sont comprises entre $1\ 10^{-14}$ et $6\ 10^{-12}$ $m{\cdot}s^{-1}$. La moyenne géométrique de l'ensemble des mesures est de $3\ 10^{-13}$ $m{\cdot}s^{-1}$. Ces valeurs s'accordent bien sur une loi log-normale unique avec une valeur médiane peu variable sur l'épaisseur de la couche, de à 2 à 3×10^{-13} $m{\cdot}s^{-1}$, et des valeurs comprises entre $4,2\ 10^{-14}$ et $2,6\ 10^{-12}$ $m{\cdot}s^{-1}$ avec un intervalle de confiance de 95 %. Cette conductivité hydraulique est anisotrope, phénomène lié à la stratification du dépôt sédimentaire, avec une valeur horizontale environ trois fois supérieure à la valeur verticale. L'endommagement dû aux ouvrages souterrains a un impact sur la perméabilité en champ proche. Cependant, la présence de minéraux argileux gonflants (smectites des interstratifiés illite-smectite) confère au matériau des propriétés d'auto-cicatrisation des fractures en présence d'eau et cet impact sur la perméabilité est temporaire jusqu'à la resaturation du stockage. Notons que les pressions d'entrée pour ces fractures auto-colmatées sont comprises entre 0,3 et 0,7 MPa contre 5 MPa pour le matériau sain.

III.3 Surpression d'eau dans le COx

L'Andra a mesuré des pressions interstitielles atypiques dans le COx, se matérialisant au point maximum par une charge hydraulique plus élevée d'une cinquantaine de mètres (soit 0,5 MPa de surpression) par rapport à la charge théorique variant linéairement entre les deux aquifères (Oxfordien et Dogger) encaissant le COx. Ces mesures sont confirmées par des observations se déroulant sur plusieurs années. Ce phénomène de surpression a été constaté à plusieurs reprises à l'échelle mondiale dans les formations très peu perméables, typiquement les formations argileuses présentant une perméabilité inférieure à 10^{-12} $m{\cdot}s^{-1}$. L'Andra a tenté de le quantifier en invoquant et modélisant quatre causes distinctes : l'effet d'un transitoire hydrodynamique long causé par des variations passées de la piézométrie des aquifères

encaissants, la réduction de la porosité, l'effet de la chimio-osmose et l'effet de la thermo-osmose.

L'effet hydrodynamique pourrait avoir été causé par l'incision sur quelques dizaines de mètres des vallées proches du site en particulier de la Meuse pendant le dernier million d'années, ce qui aurait provoqué un abaissement du niveau piézométrique dans l'Oxfordien se transmettant progressivement au COx. Une simulation numérique montre que malgré la très faible perméabilité des argilites, une telle perturbation se dissiperait en une dizaine de milliers d'années et ne pourrait être responsable de la totalité de la surpression qui subsiste dans le COx.

La réduction de la porosité peut avoir une cause mécanique ou chimique. L'effet mécanique résulte de la compaction des sédiments au cours de leur enfouissement progressif. L'effet chimique peut provenir de transformations minéralogiques (évolution des interstratifiés illite-smectite) ou de la précipitation de minéraux néoformés (carbonates). L'augmentation du volume solide se fait au détriment du volume poral ce qui provoque une augmentation de la pression interstitielle d'autant plus importante que l'eau peine à s'évacuer du milieu. L'histoire géologique du dépôt des sédiments et de leur diagenèse montre que de tels événements ont pu se produire mais à des dates suffisamment anciennes pour permettre la dissipation d'une surpression associée.

L'osmose chimique est un phénomène qui engendre des flux d'eau sous l'effet d'un gradient de concentration s'exerçant de part et d'autre d'une membrane semi-perméable, l'eau ayant tendance à s'écouler vers le milieu le plus concentré jusqu'à atteindre un équilibre à concentration uniforme. Ce phénomène dépend d'un gradient de pression osmotique régi par la loi de Van't Hoff et d'un coefficient d'efficacité osmotique dont la valeur est inférieure ou égale à 1. Lorsque la membrane est idéale, elle laisse passer les molécules d'eau mais s'oppose au transfert des ions ; le coefficient vaut alors 1. Le coefficient est inférieur à 1 lorsque les ions peuvent la traverser et les phénomènes d'osmose et de diffusion coexistent. Les argiles se comportent comme une membrane semi-perméable imparfaite en raison de la taille réduite des pores (quelques nanomètres) et de mécanismes électrostatiques. Les différences de salinité entre les aquifère de l'Oxfordien et du Dogger qui encadrent le COx peuvent atteindre plusieurs dizaines de millimoles par litre pour Cl^-, qui est l'ion majoritaire. Le coefficient d'efficacité osmotique de l'argilite a été mesuré par l'Andra autour de 0,1 sur échantillon et en laboratoire souterrain. Avec ces paramètres, les calculs indiquent que la surpression engendrée dans le COx ne dépasserait pas quelques centièmes de MPa. Une configuration enveloppe, tenant compte des incertitudes et de la variabilité des propriétés du milieu, conduirait une valeur maximale de 0,2 MPa, insuffisante pour expliquer la surpression observée.

La thermo-osmose est le phénomène qui engendre des flux d'eau sous l'effet d'un gradient de température. Il dépend d'un paramètre k_T ($Pa \cdot m^2 \cdot K^{-1}$), appelé perméabilité thermo-osmotique, qui est très peu renseigné dans les milieux naturels. Compte tenu du profil de température dans le COx, les calculs montrent que ce paramètre devrait avoir des valeurs supérieures à la gamme des observations réalisées sur des milieux comparables au COx. Cependant, un cadre théorique récemment développé conclut que de telles valeurs sont possibles. L'explication d'une part de la surpression dans le COx par la thermo-osmose reste donc une hypothèse plausible. L'Andra poursuit actuellement les recherches pour obtenir des données sur les paramètres thermo-osmotiques spécifiques du COx en conditions *in situ*.

La conclusion des études sur la surpression est que les trois phénomènes analysés et quantifiés, hydrodynamique, chimio-osmotique et thermo-osmotique peuvent engendrer des surpressions sans qu'il soit possible à ce stade de distinguer la part de chacun.

Face à l'incertitude, l'Andra adopte une attitude conservative pour l'évaluation des performances du stockage. En premier lieu, l'Andra considère que quelle que soit l'origine de cette surpression, les solutés peuvent être transportés par l'écoulement convectif théorique résultant. L'examen du nombre de Péclet (rapport entre la convection et la diffusion) pour les différentes conditions aux limites hydrauliques et chimiques sollicitant le COx, montre que la diffusion reste le phénomène dominant de transport de radionucléides à grande échelle vers les limites de la roche hôte. En second lieu, l'Andra s'intéresse au rôle de la surpression au niveau des ouvrages de stockage. Il est postulé dans les modèles que toute la surpression mesurée serait d'origine hydrodynamique et s'appliquera dans le stockage après fermeture pendant la phase transitoire de resaturation et au-delà. Les conséquences attendues seraient une augmentation des transferts *via* les liaisons surface-fond (LSF). Les calculs montrent que les flux diffusifs évacués par le COx restent dominants par rapport à ceux empruntant les LSF, dans le cadre du scénario d'évolution normale (SEN). Ces flux, qui restent faibles, deviennent comparables en cas de défaillance des performances des interfaces entre le COx et le noyau argileux des scellements. Enfin l'Andra s'intéresse à la surpression d'origine osmotique qui pourrait apparaître dans certains alvéoles MAVL contenant des déchets salins solubles pouvant engendrer des concentrations de solutés de plusieurs moles par litre. Les calculs concluent que la surpression reste inférieure à quelques dixièmes de MPa, dans la gamme de l'incertitude sur les pressions résultant du transitoire de resaturation.

III.4 Propriétés de transfert

La perméabilité du COx étant très faible, cette formation constitue un obstacle quasi parfait à la circulation des eaux, même sous un gradient de charge hydraulique élevé. Le mode de transfert des éléments chimiques en solution, en particulier des radionucléides est ainsi essentiellement diffusif sous l'effet du gradient de concentrations (par rapport au transfert convectif lié au mouvement de l'eau sous l'effet du gradient de charge hydraulique).

L'Andra a accordé beaucoup d'attention à la chimie de l'eau porale et a développé des méthodes pour prélever des échantillons représentatifs d'eau dans un milieu très peu perméable. Les concentrations mesurées ont été confrontées avec succès à un modèle thermodynamique de spéciation. Elle a également étudié en détail le coefficient de diffusion des solutés en fonction de l'espèce chimique (anions, cations, eau tritiée HTO) et de la variabilité minéralogique du COx. Un schéma diffusif conceptuel a été établi pour des espèces types (HTO, Cl^-, I^-, Cs^+, Na^+) présentant des facilités expérimentales car peu retenues sur les argiles. Il est mis en évidence le rôle majeur des phénomènes électrostatiques dans l'argile provoquant une exclusion anionique pour les anions et une diffusion augmentée pour les cations. La variabilité du coefficient de diffusion apparaît plus grande pour les cations dont la chimie peut être complexe, mais l'effet de cette variabilité est atténué par la forte rétention dans les argiles (Kd élevés). Les coefficients de diffusion des espèces types ont été mesurés en laboratoire et *in situ* au laboratoire souterrain (expérience DIR ménée sur 4 ans). Des tentatives ont été effectuées pour exploiter les traceurs naturels dans le COx (Cl^-, isotopes de l'oxygène) avec des résultats peu convaincants. Le coefficient de diffusion effectif pour les molécules

d'eau tritiée (HTO) et les chlorures (Cl^-) est évalué expérimentalement respectivement à $2,2 \pm 0,8\ 10^{-11}\ m^2 \cdot s^{-1}$ et $4,9 \pm 2,3\ 10^{-12}\ m^2 \cdot s^{-1}$.

III.5 Comportement mécanique

Sur le plan mécanique, l'état des contraintes *in situ* du COx sur la ZT apparaît homogène. Cette roche présente un comportement instantané pseudo-élastique, qui évolue vers un comportement plastique avec rupture ductile et résistance résiduelle. La prédominance de la matrice argileuse confère au COx des bonnes propriétés élastiques. La résistance en traction est de 1,4 MPa, celle à la compression de 20 à 30 MPa. Il existe une anisotropie des propriétés liée à la stratification.

De plus, il existe un changement de comportement mécanique, avec passage d'un comportement élastique à élasto-plastique vers -470 m de profondeur, qui est en lien avec la lithologie. Ce comportement mécanique associé au déviateur des contraintes horizontales existant dans le COx a un impact sur la déformation et l'endommagement (écaillage) en champ proche engendré par les excavations.

Ces considérations d'ordre mécanique ont été prises en compte pour optimiser l'architecture du stockage.

III.6 Conséquences du comportement mécanique du COx sur la réalisation des ouvrages

Les propriétés intrinsèques du COx ayant été caractérisées, il convient d'évaluer les modifications éventuelles induites par le creusement et l'implantation du site de stockage Cigéo dans la couche géologique pour assurer les fonctions de sûreté. La couche du COx engendre des sollicitations sur la structure du stockage dont il faut tenir compte pour dimensionner des ouvrages de génie civil capables d'assurer leurs fonctions sur toute la durée de service requise.

La caractérisation expérimentale des carottes prélevées dans le COx lors de la réalisation du laboratoire souterrain a montré que l'argilite est un matériau au comportement fragile qui tend à devenir ductile lorsque la contrainte de confinement augmente. Elle présente dans le temps un comportement différé convergent qui a pour conséquence un chargement mécanique des ouvrages. Les observations dans le laboratoire souterrain ont confirmé que ce comportement en champ proche, bien que de nature similaire, engendre des sollicitations anisotropes suivant l'orientation des galeries. Il en résulte dans les galeries orientées selon la contrainte horizontale majeure (σ_H) un déplacement horizontal qui atteint 60 mm au bout de 400 jours alors que dans les galeries orientées selon la contrainte horizontale mineure (σ_h) c'est le déplacement vertical qui est le plus important, jusqu'à 200 mm après 2200 jours.

L'approche choisie pour modéliser le comportement hydro-mécanique du COx considère les différentes périodes de vie du stockage, à savoir celles de construction, d'exploitation et post-fermeture. Pour chacune, les processus physico-chimiques prépondérants ont été identifiés. Il a donc fallu développer un modèle conceptuel pour chaque situation et ses conditions propres.

Plusieurs modélisations ont été testées au sein d'un groupe de travail piloté par l'Andra selon une méthodologie d'inter-comparaison de codes de calcul. Dans un premier temps, les différents laboratoires ont suivi des approches variées pour modéliser l'endommagement diffus dû à l'excavation. Les modélisations ont été éprouvées par comparaison avec les données obtenues *in situ* dans le laboratoire souterrain et les modèles ont été recalés au besoin. Un des modèles les plus avancés s'avère être un modèle poro-élasto-visco-plastique utilisant un critère de type Mohr-Coulomb pour calculer la limite d'élasticité, la limite de rupture et l'extension anisotrope. Il permet de prendre en compte l'anisotropie et le traitement de la localisation de l'endommagement pour une meilleure prédiction de la convergence du COx et de son fluage, mais aussi de l'évolution de la perméabilité modifiée par la plasticité du milieu.

Les résultats de cette modélisation des sollicitations du COx ont été utilisés pour dimensionner les ouvrages qui subissent le fluage de la roche et tendent à s'ovaliser. Plusieurs compositions de revêtement de galeries ont été considérées. Ces différentes compositions sont liées au mode de creusement -tunnelier ou attaque ponctuelle- qui implique une technique différente de soutènement, à savoir par des voussoirs ou par projection/coulage en place de béton cintré, respectivement. En fonction de l'activité de la zone (zone d'accostage, cellule de manutention, jonction retour d'air, etc.) le diamètre excavé de la galerie peut aussi varier.

Les premiers calculs ayant spécifié qu'une épaisseur de béton de l'ordre du mètre était nécessaire pour assurer la tenue des galeries sur la durée d'exploitation, des solutions techniques ont été recherchées pour diminuer ces quantités et les délais de pose. L'introduction de matériaux compressibles en extrados de la couche de béton s'est révélée performante et permet de significativement réduire l'épaisseur de béton : pour l'addition de 20 cm de matériau compressible, l'épaisseur de béton B60 passe de 110 à 60 cm. L'emploi de matériaux compressibles a été validé par des essais en laboratoire à plusieurs échelles en laboratoire souterrain et numériquement. De plus, ce dispositif permet de réduire l'incertitude sur le comportement différé pendant la période où l'extrapolation a été effectuée.

La validation des différentes compositions, et donc de la tenue des différentes zones de galeries, a été faite par vérification de leur contrainte de compression maximale σ_{max} à la fin de la phase d'exploitation (100-150 ans) et de la contrainte par rapport à l'écrasement du matériau compressible via le ratio entre la limite du palier plastique et la déformation radiale. Le seuil de la contrainte maximale est fixé à 29,6 MPa pour les bétons coulés en place et 34,2 MPa pour les voussoirs préfabriqués, modulés par un coefficient de sécurité de $1,35 \times \sigma_{max}$. Par exemple, pour les voussoirs composés de 50 cm de béton B60 et de 20 cm de matériau compressible, selon les deux orientations de galeries σ_H et σ_h les contraintes maximales atteintes sont inférieures au critère d'admissibilité de 34,2 MPa, égales à 23 et 26 MPa respectivement. La déformation maximale du matériau compressible est d'environ 19 % si l'orientation est celle de la contrainte horizontale majeure et 25 % selon la mineure. Les vérifications sont ainsi réalisées sur les parois des différentes parties de l'ouvrage.

Pour qualifier ce concept, l'Andra a caractérisé le comportement mécanique de matériaux bi-couche (matériau compressible/béton) en laboratoire, a mené des essais à grande échelle (échelle ¾) au laboratoire souterrain, et a finalement modélisé leur comportement à long terme sur la base des données obtenues.

Les modélisations numériques sont basées sur un modèle élasto-visco-plastique avec écrouissage. Les calculs montrent ainsi qu'une épaisseur de 20 cm de matériau compressible avec une fin de palier plastique à 50 % de déformation associée à des voussoirs de 50 cm de

béton armé de classe C60/75 permettent d'assurer la tenue mécanique de la structure. À la fin de la période séculaire, les contraintes en compression dans le revêtement atteignent 25 à 30 MPa, valeurs inférieures à la résistance de 36 MPa correspondant à l'état ultime de service pour laquelle le soutènement est dimensionné. Un écrasement maximal de 25 % du matériau compressible en résulte. Selon ces hypothèses, la rupture du revêtement commence à partir de 500 ans lorsque le matériau compressible atteint 20 % de déformation, bien au-delà de la période de fonctionnement sur laquelle la récupérabilité est envisagée.

128

Annexe IV. Chimie : implication sur les termes sources et la migration des radionucléides

Cette annexe est, autant que possible, auto-porteuse. Elle décrit l'état de la science pour ce qui concerne la chimie et son implication dans Cigéo.

La chimie intervient dans la mise au point des matériaux pour confectionner les colis primaires de déchets HA et MAVL (conteneurs, matrice de confinement des radionucléides, liant de blocage des déchets, etc.) qui doivent assurer le non-relâchement puis le confinement passif de la radioactivité le plus longtemps possible. Elle intervient également dans la sélection des matériaux métalliques et matériaux cimentaires utilisés pour les colis de stockage, ainsi que dans la sélection des matériaux argileux, incluant les argilites de verse, utilisés pour combler les vides (galeries, extrados des chemisages des alvéoles HA et liaisons surface-fond). Ces matériaux doivent permettre de préserver ou de reconstituer au mieux les propriétés du COx sain.

La chimie intervient également dans les phénomènes de dégradation de tous les matériaux vis-à-vis de diverses sollicitations (air, CO_2, eau, rayonnements ionisants, bactéries), dans le relâchement des espèces chimiques (radionucléides et toxiques chimiques) au niveau des colis, c'est à dire dans la phénoménologie évolutive du stockage après fermeture. Enfin elle joue un rôle dans la migration des espèces relâchées depuis les colis jusqu'à la biosphère en précisant de quelles espèces il s'agit.

Les lois fondamentales de la chimie permettent a priori de faire des prévisions cinétiques et thermodynamiques lorsqu'on sait caractériser chimiquement le système à un instant et à un endroit donné. Tous les phénomènes chimiques dans Cigéo, même extrêmement lents, conduisent toujours à un état d'équilibre décrit par la thermodynamique des réactions chimiques au regard des durées géologiques qu'il faut prendre en compte.

IV.1 Rôle de la chimie dans l'isolement et confinement de la radioactivité

IV.1.1 Résultats des calculs de l'Andra

Le relâchement des radionucléides commence dès la perte d'étanchéité des conteneurs de déchets soit, selon les calculs de l'Andra, après quelques centaines d'années pour les déchets MAVL et quelques milliers d'années pour les déchets HA. La migration des radionucléides commence dans les 100 ans qui suivent, d'abord dans les alvéoles HA et MAVL en cours de resaturation, puis dans le COx.

L'eau joue un rôle essentiel dans ces phénomènes. Elle est présente initialement dans le COx sain. Une fraction de l'eau est liée aux minéraux argileux du COx, notamment dans les espaces interfoliaires, alors qu'une autre, dite eau interstitielle ou eau de pore, se déplace lentement sous l'effet du gradient hydraulique qui existe dans le COx. La resaturation des ouvrages de stockage après fermeture s'étend sur plusieurs milliers d'années sous la dépendance de plusieurs phénomènes transitoires, notamment le transitoire hydraulique gaz. L'eau du COx atteindra les colis de stockage après avoir traversé les barrières que constituent les composants des alvéoles. Ainsi, les colis se trouveront *in fine* au contact d'une eau quasi immobile qui

contiendra différents éléments chimiques avec lesquels elle aura été en contact. Les radionucléides mis en solution migreront au travers de ces barrières pour atteindre à terme le COx sain, qui est un milieu anoxique (potentiel d'oxydo-réduction inférieur à zéro) au pH neutre (pH~7).

Les radionucléides présents dans les déchets HA et MAVL sont nombreux. Ils sont formés dans le combustible des réacteurs nucléaires par fission ou par capture neutronique ou encore décroissances radioactives. On distingue donc les radionucléides « produits de fission » isotopes d'éléments chimiques classiques résultat de la réaction de fission nucléaire de l'uranium ou du plutonium, et les radionucléides transuraniens produits par capture neutronique, notamment le plutonium et les « actinides mineurs » dénommés ainsi car ils sont très minoritaires par rapport à l'uranium et au plutonium. Le retraitement du combustible usé pour en extraire le plutonium et l'uranium laisse comme déchets ultimes d'une part des solutions d'acide nitrique concentrées en produits de fission et en actinides mineurs qui sont conditionnées dans une matrice de verre borosilicaté et constituent les déchets HA, d'autre part des effluents et des matériaux solides contaminés qui constituent les déchets MAVL conditionnés dans différents types de colis. On retrouve donc produits de fission non volatils et actinides mineurs dans les colis primaires de déchets HA et MAVL, en quantité plus ou moins importante (typiquement 15 % dans les colis HA). On y retrouve aussi des radionucléides provenant de l'irradiation par les neutrons des matériaux de structures des assemblages de combustibles appelés produits d'activation.

Les propriétés chimiques générales de ces radionucléides sont connues des radiochimistes. Les propriétés particulières nécessaires pour les conditionner en colis primaires et pour étudier la robustesse de ces colis ont été étudiées pendant les 50 dernières années pour un stockage géologique en profondeur. Ainsi, les bases de données intègrent aujourd'hui toutes les propriétés des radionucléides impliqués dans la gestion des déchets HA et MAVL et les réactions chimiques et géochimiques pertinentes de Cigéo.

Parmi les radionucléides à vie longue contenus dans les déchets HA ou MAVL, les radionucléides présents sous forme cationique, comme les isotopes des actinides mineurs émetteurs alpha très radiotoxiques, sont retenus dans les composants du stockage, à cause en particulier d'interactions fortes avec l'argile du COx. Les radionucléides qui seront présents sous forme anionique comme les produits de fission émetteurs beta ^{129}I, ^{36}Cl, ou ^{79}Se auront peu d'interaction avec les composants du stockage, et ne seront pas retenus. Néanmoins leur mobilité est très lente car elle est gouvernée par le seul mécanisme de la diffusion.

Selon les simulations de l'Andra, seuls ^{129}I, ^{36}Cl, ^{79}Se puis ^{26}Al, ^{40}K et ^{41}Ca peuvent, après quelques centaines de milliers d'années, parvenir dans les encaissants situés au toit et au mur de la couche du COx. Les quelques actinides qui migreraient au delà des limites des quartiers HA et MAVL, seraient retenus dans les premiers mètres du COx. Par ailleurs, la fraction de ces radionucléides qui migreraient par les liaisons surface-fond scellées (descenderies et puits) est négligeable par rapport au COx. Finalement seuls les radionucléides dits mobiles comme ^{129}I, ^{79}Se et ^{36}Cl peuvent arriver aux limites du COx.

A la fermeture du stockage, le stock d'iode ^{129}I sera de l'ordre de 4 10^{12} Bq, soit environ 5 000 moles (activité spécifique 6,5.10^{6} Bq·g^{-1}), répartis par moitié entre les quartiers HA et MAVL. La radiotoxicité de ^{129}I par ingestion est de 10^{-7} Sv·Bq^{-1}, proche de celle des actinides. Ce radionucléide, sous la forme d'anion iodure I^-, est le marqueur enveloppe des performances des composants manufacturés et naturels du stockage en matière de confinement sur de

longues périodes. L'iode reste sous forme iodure dans toutes les situations d'évolution des composants du stockage. Le chlore a un comportement chimique proche de celui de l'iode et se trouvera sous la forme d'anion chlorure Cl^-. La spéciation et le comportement du sélénium sont plus complexes, car son degré d'oxydation peut changer sous l'effet de phénomènes d'oxydo-réduction. Les périodes de ^{79}Se et de ^{36}Cl sont du même ordre de grandeur (3,5 10^5 et 3 10^5 ans) ainsi que leur radiotoxicité par ingestion (environ 10^{-9} $Sv \cdot Bq^{-1}$) et les quantités respectives sont de l'ordre de 6 800 et 14 000 moles. Toutes les données concernant les quantités de radionucléides sont des valeurs déclarées par les producteurs de déchets. Dans le scénario d'évolution normal, le maximum des débits molaires au toit du COx de ^{129}I et ^{36}Cl est de 10^{-3} $mol \cdot an^{-1}$ à 800 000 ans pour ^{129}I, et 350 000 ans pour ^{36}Cl. Pour ^{79}Se, les valeurs sont de 10^{-4} à 10^{-5} $mol \cdot an^{-1}$ à 600 000 ans. La migration des radionucléides dans les encaissants du COx atténue fortement, par effet de dilution, les débits molaires aux exutoires. Les débits molaires à la sortie des liaisons surface-fond sont par ailleurs négligeables.

L'Andra a estimé les proportions de l'inventaire total en marqueur enveloppe ^{129}I qui sort, en un million d'années, des quartiers HA et MAVL puis du COx à environ 20 % (répartis à parts égales aux limites supérieure et inférieure de la couche du COx). Dans le calcaire du Barrois, ce pourcentage est de 0,2 %. La majorité des radionucléides est donc piégée dans le stockage et le COx, ainsi que les toxiques chimiques et autres éléments constitutifs des colis. Seuls les éléments les plus mobiles sont attendus aux exutoires après des centaines de milliers d'années. Ces valeurs sont obtenues en faisant des hypothèses qui sont discutées ci-desssous.

Le comportement du stockage tient pour une grande partie à des processus chimiques complexes qui auront lieu après fermeture lors des phénomènes transitoires plus ou moins concomitants qui vont influer la chimie du stockage.

La construction du stockage (creusement des accès, des galeries et des alvéoles) et l'exploitation du stockage (mise en place des colis, comblement des vides et fermeture) rompent localement les équilibres thermique, hydraulique et chimique qui existent au sein du COx. Le retour des paramètres température, pression de l'eau, saturation en eau du COx à leurs valeurs initiales (30°C, 4,5 MPa, 100 % des pores remplis d'eau) autour des alvéoles est plus ou moins long.

Ces phénomènes transitoires sont le transitoire d'oxydation chimique du COx (centaine d'années), le transitoire thermique (milliers d'années), le transitoire thermo-hydro-mécanique (quelques centaines à quelques milliers d'années) et transitoire thermo-hydraulique-gaz (quelques dizaines à quelques de centaines de milliers d'années).

Le transitoire d'oxydation affecte le COx en paroi des cavités sur des distances de l'ordre du mètre, sans grandes conséquences ultérieures sur la migration des espèces chimiques. Le transitoire thermique affecte le quartier HA et le COx à proximité, le transitoire thermo-hydro-mécanique affecte surtout le quartier MAVL, ainsi que le COx sur quelques mètres. Le transitoire thermo-hydraulique-gaz, dû à la production d'hydrogène lors de la corrosion anoxique des aciers et à la radiolyse de l'eau, conduit à une lente augmentation de la pression de H_2 dans les ouvrages du stockage, qui s'élimine lentement par dissolution et diffusion dans l'eau interstitielle du COx. Ces deux derniers transitoires impactent la migration des espèces chimiques.

IV.1.2 Fonctionnement phénoménologie de Cigéo en exploitation impliquant la chimie

L'exposition à l'air des alvéoles ventilées pendant le creusement et l'exploitation conduit à l'oxydation des pyrites du COx et à l'hydrolyse et la carbonatation des composants cimentaires, et à la formation de minéraux secondaires. De façon concomitante, cela conduit également à la désaturation (en eau) du COx. Ces transformations dépendent de l'humidité relative de l'air. La conséquence chimique de ces phénomènes sera une première modification de la composition de l'eau porale du COx sain lors de la resaturation.

IV.1.3 Fonctionnement phénoménologie de Cigéo après sa fermeture impliquant la chimie

Le relâchement des espèces chimiques des colis de déchets (radionucléides, éléments toxiques, éléments des conteneurs, éléments des matrices de confinement, etc.) et leur migration sont pilotés par des phénomènes qui n'apparaissent qu'au contact de l'eau lors de la resaturation des composants du stockage.

La progression de l'eau dans le stockage fermé conduit à de nombreuses interactions entre les matériaux des composants ouvragés (béton des galeries, matériaux métalliques, argilites ou matériaux cimentaires de remplissage, bentonite des bouchons d'alvéoles, etc.) d'une part, et ceux des colis (conteneurs métalliques ou cimentaires, matrices de confinement) d'autre part. Il en résulte de nombreuses perturbations chimiques qui modifient les matériaux en surface et sub-surface et conduisent à l'apparition de nouveaux composés produits au fur et à mesure de la dégradation des matériaux. De ce fait, le relâchement des éléments chimiques des colis de déchets est dû à l'action de solutions aqueuses dont la composition varie en fonction des conditions locales rencontrées. La migration des espèces chimiques à proximité immédiate des colis des espèces chimiques se fait donc dans des milieux hétérogènes complexes. Elle est principalement gouvernée par le phénomène de diffusion chimique. Il s'agit en outre d'une diffusion retardée, en raison des nombreuses interactions entre les espèces chimiques et les phases solides.

La migration des éléments relâchés dans le COx altéré puis sain jusqu'aux encaissants (formation de l'Oxfordien au toit et du Dogger au mur de la formation du COx) est uniquement pilotée par la diffusion dans l'eau porale du COx à l'échelle de centaines de milliers d'années. Elle est de surcroît retardée à fortement retardée pour certaines espèces par les interactions entre ces espèces et les minéraux argileux du COx. La migration des radionucléides et toxiques chimiques depuis les encaissants du COx jusqu'à la biosphère est pour sa part contrôlée par des mécanismes essentiellement convectifs.

Toutes les interactions possibles des colis de déchets et des matériaux des composants du stockage et avec leur(s) environnement(s), saturé(s) ou non en eau, et les migrations des espèces à l'intérieur et à l'extérieur des alvéoles ont été étudiées (en laboratoire et *in situ*, en laboratoire souterrain ou au moyen d'analogues naturels). Les interactions sont décrites par les lois des équilibres thermodynamiques et de la cinétique chimique (corrosion des aciers, altérations des nombreux colis de déchets HA et MAVL, etc.). Les migrations sont décrites par les lois de transfert pilotées par les divers gradients de potentiel possibles et modélisées à l'aide d'outils de simulations.

IV.1.4 Modèles et simulations

Toutes les études expérimentales et théoriques sur l'évolution physico-chimique de Cigéo ont conduit l'Andra à élaborer des modèles phénoménologiques d'évolution chimique des différents composant du stockage (colis, alvéoles, COx). L'évolution est caractérisée par un ou plusieurs indicateurs de performances, dont les valeurs sont calculées à partir de paramètres et de relations mathématiques représentatifs de la physico-chimie du milieu, qui concernent la thermodynamique et la cinétique des réactions chimiques et le transport des espèces. Les indicateurs de performances sont par exemple les débits d'eau, les débits molaires ou massiques des radionucléides, les cartographies des panaches, les voies de transferts privilégiées.

La plupart des modèles pour décrire des phénomènes physico-chimiques locaux à l'échelle des alvéoles sont très complexes et les valeurs des paramètes peuvent varier de sorte qu'il faut calculer de façon incrémentale, c'est à dire pas-à-pas, les valeurs des indicateurs. Selon l'importance des paramètres et la complexité des relations mathématiques choisies pour décrire la physico-chimie du milieu, les modèles doivent être simplifiés pour permettre des simulations numériques en un temps raisonnable. La description de certains systèmes où se déroulent des processus couplés thermo-hydro-mécano-chimiques nécessite d'emboîter plusieurs sous-modèles.

La modélisation des performances au cours de la resaturation en eau du stockage prend en compte des phénomènes qui se déroulent en sens opposé : la progression de l'eau qui va du COx vers les colis lors de la resaturation, et la migration des espèces relâchées qui va des colis vers le COx sous l'effet de la diffusion.

L'Andra a conduit de multiples simulations traitant de systèmes physico-chimiques à différentes échelles d'espace et de temps. Elle a modélisé et simulé les performances de systèmes à l'échelle du colis de stockage et de l'alvéole (termes sources et migrations locales des espèces sur une longueur décimétrique) et les performances des systèmes de plus grande taille comme les quartiers HA et MAVL (termes sources et migrations des espèces à l'échelle décamétrique), la couche du COx, les scellements et liaisons surface-fond, et les encaissants (migrations à l'échelle kilométrique). L'Andra a aussi conduit de nombreuses analyses de sensibilité consistant à faire varier les valeurs des paramètres d'entrée dans des plages plus ou moins étendues.

Les outils de simulation numérique de l'Andra reposent sur des codes qualifiés et validés sur des systèmes chimiques connus. La plateforme Cassandra (Codes appliqués à la simulation des stockages) intègre la suite des calculs à faire pour un objectif choisi, en permettant l'échange des données entre codes de simulation à différentes échelles et niveaux de simplification. Les codes traitent des écoulements en milieu poreux monophasique (Porflow) et diphasique (Tough), de la chimie en milieu poreux (PhreeqC), du transport de solutés (Porflow) et de mécanique et thermo-hydro-mécanique (Bright). L'exploitation de tous ces outils est réalisée en interne par l'Andra.

Les modélisations/simulations de l'Andra couvrent toutes les situations considérées dans les scénarios associés aux évaluations de sûreté, scénarios d'évolution normale (SEN-Ref et SEN-Env) et autres scénarios dégradés. Dans ces exercices l'évolution de la température en tout point du stockage en fonction du temps est capitale. L'Andra l'a calculée avec précision sur la base des équations de propagation de la chaleur (loi de Fourier).

IV.1.5 De la science aux calculs de performances pour les scénarios de sûreté

Les performances des composants de Cigéo en matière de confinement des éléments contenus dans les déchets HA et MAVL calculées par l'Andra sont telles que seule une faible fraction des radionucléides contenus dans les déchets arrivera dans les encaissants entre 600 000 ans et un million d'années (inférieure au % avec, pour le marqueur enveloppe ^{129}I, un débit de l'ordre de quelques millimoles par an), et à la biosphère bien après.

La complexité des phénomènes qui conduisent à une telle performance globale nécessite une analyse scientifique approfondie de chacun d'eux, notamment de ceux qui se déroulent dans les quartiers HA et MAVL. Ils sont examinés dans ce qui suit.

IV.2 Termes sources dans le quartier HA

IV.2.1 Perturbations chimiques dans le quartier HA

En arrivant sur le quartier HA, l'eau provenant du COx arrive en premier au contact avec le matériau de remplissage à l'extrados du chemisage de l'alvéole (matériau cimentaire bas pH). Le pH de cette eau est inférieur à celui du COx sain (pH~7) sous l'effet de l'oxydation des pyrites du COx en champ proche lors de la phase d'exploitation, qui se traduit par une acidification des eaux interstitielles. Après mise à l'équilibre avec le matériau cimentaire, le pH augmente au-delà de pH 7 et peut atteindre localement pH 11. Du point de vue chimique, le béton bas pH a pour but de tamponner le pH et de maintenir ainsi les matériaux métalliques dans des domaines de passivation. L'eau arrive ensuite sur le chemisage, puis sur le conteneur de stockage, puis sur le conteneur des colis de verres nucléaires, au fur et à mesure de leurs dégradations respectives par corrosion anoxique. La corrosion métallique produit de l'hydrogène.

Les calculs de l'Andra indiquent que la température dans les alvéoles HA est de 30°C vers 10 000 ans. Ils indiquent aussi que la pression d'hydrogène augmente dans les alvéoles jusqu'à 6,5 MPa vers 60 000 ans, puis diminue par diffusion de l'hydrogène dans le COx.

L'Andra fixe par convention la perte d'étanchéité du conteneur de stockage à 4 000 ans environ après la fermeture du stockage (correspondant à une température de 40°C et des pressions d'eau et de gaz de quelques MPa) et celle du conteneur des colis primaires à quelques centaines d'années après. Il s'agit dans les deux cas de valeurs conservatives bien inférieures à ce qu'il devrait advenir réellement dans le stockage.

A ce moment-là, la vapeur d'eau entre en contact avec le verre. Une couche d'altération se forme à la surface du verre dans laquelle les radionucléides restent piégés. L'eau liquide arrive en contact avec le verre après quelques centaines de milliers d'années. La dégradation des verres reprend alors et les radionucléides commencent à migrer.

Les interactions entre l'eau le matériau cimentaire bas pH conduisent à la formation de composés silico-alumineux. La corrosion anoxique des matériaux métalliques (aciers non alliés et inox) produit des oxydes, des carbonates de fer et de l'hydrogène. Il en résulte que la composition de l'eau de resaturation est très différente de l'eau interstitielle du COx. Elle renferme notamment sous forme dissoute du fer, du sodium, du magnésium, du calcium et du potassium, sa composition variant au contact des phases minérales néoformées rencontrées.

Lorsqu'elle arrive sur la matrice de verre son pH est voisin de 7 et sa force ionique est de 0,1 $mol \cdot l^{-1}$.

IV.2.2 Interactions eau-colis de verres nucléaires

IV.2.2.1 Généralités

Les colis de verres nucléaires HA ont été très largement étudiés depuis les années 80 et l'Andra a dressé un bon état des connaissances sur ces colis et leur altération, depuis leur composition, les procédés de coulée et de refroissement dont dépend la fracturation, jusqu'à leur lixiviation-dissolution qui relâche les radionucléides et toxiques chimiques. Les effets intrinsèques des contraintes mécaniques, de l'auto-irradiation ont été étudiés, ainsi que les diverses interactions entre matrice vitreuse, argilite et matériaux métalliques, dont résultent essentiellement des produits de corrosion du fer, des silicates et de la silice dissoute dans le milieu aqueux. La base de données est exhaustive. Ce qui suit est une synthèse.

Les colis primaires de déchets HA sont des objets manufacturés de haute technologie. Le conteur est un cylindre en acier inoxydable de 0,5 cm d'épaisseur. La matrice de confinement est un verre borosilicaté dit *verre nucléaire*. Sa composition a été étudiée pour qu'il incorpore les produits de fission et les actinides mineurs dans les réseaux formateurs du réseau vitreux constitués par des chaines d'oxyde de silicium et de bore. Les verres ont une structure amorphe qui leur confère la propriété de dissoudre les éléments étrangers à leur composition initiale sans perdre leurs propriétés intrinsèques. Les solutions de produits de fission et d'actinides mineurs issues du retraitement, qui contiennent également des réactifs chimiques et des fines de cisaillage des assemblages de combustible usé sont évaporées, calcinées et les résidus solides sont digérés dans le verre en fusion. Il en résulte un matériau massif et homogène sans joints de grain qui est coulé dans le conteneur et restera amorphe dans les conditions d'entreposage et de stockage. *In fine*, un couvercle est soudé sur le conteneur, et le colis primaire est mis en entreposage pour de longues années pour permettre son refroidissement. Sa puissance thermique initiale est de quelques kilowatts, et elle décroit après quelques siècles au fur et à mesure de la décroissance radioactive des produits de fission.

Le conteneur de stockage des colis primaires sera un cylindre d'acier non-allié de 5 cm d'épaisseur étanché par un couvercle soudé, et muni de patins en céramique pour faciliter son introduction dans les chemisages en acier des alvéoles HA.

Tous les paramètres des opérations de fabrication des colis primaires de déchets HA sont spécifiés et contrôlés. Des échantillons de verre prélevés sur deux coulées de verre à la Hague ont montré la parfaite adéquation entre prévision de composition et composition réelle.

Les colis de verres renferment plus de 95 % de la radioactivité du stockage. La majorité des colis (92%) renferment des verres dits R7T7 produits à la Hague lors du retraitement du combustible usé d'EDF selon un procédé qualifié. Les colis seront stockés dans le quartier HA après refroidissement. D'autres verres plus anciens dits AVM, produits à Marcoule, seront également stockés dans le quartier HA. Des colis moins radioactifs (UMo) seront stockés dans le quartier pilote proche du quartier MAVL.

Pour examiner la robustesse du confinement des radionucléides par le stockage, il est donc capital de s'intéresser à l'altération des verres R7T7, au relâchement des éléments qu'ils

contiennent et à leur migration. L'altération macroscopique des verres est très bien décrite et documentée. La plupart des mécanismes sont confirmés sur la base d'observations microscopiques. Les lois générales de comportement du verre sous diverses sollicitations sont bien établies. Des modèles phénoménologiques existent.

La majorité des expériences de lixiviation-dissolution ont été faites avec le verre nucléaire SON68 de même composition que le R7T7 (sans platinoïdes) mais inactif. Les deux sont des verres borosilicatés (45 % de SiO_2, 35 % de B_2O_3, autres oxydes de Na, Al et d'éléments de produits de fission). Les résultats ont été comparés à ceux obtenus sur des échantillons de verre SON68 dopés avec des émetteurs alpha et gamma et sur des échantillons de verre réel prélevés sur deux coulées à la Hague. Le verre R7T7 contient 13 % de produits de fission et d'actinides.

Les méthodes d'imagerie et spectroscopie de la couche altérée permettent de connaître la nature de l'altération.

L'altération du verre est quantifiée par l'épaisseur de verre altéré mesurée à partir de la surface initiale et les relâchements en solution, et par sa vitesse d'altération. Elle est caractérisée par l'examen microscopique de la surface et de la subsurface (sur environ 15 µm). La vitesse d'altération est exprimée relativement à l'épaisseur ($\mu m \cdot an^{-1}$) ou la perte de masse par unité de surface ($g \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$). Pour le verre R7T7 de masse volumique égale à 2,7 $g \cdot cm^{-3}$, la vitesse d'altération est de 1,35 $\mu m \cdot an^{-1}$, équivalente à 10^{-2} $g \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$.

L'altération des verres nucléaires par la vapeur d'eau et par l'eau liquide pure dans un domaine de température étendu (et même de pression, mais elle est sans effet) est très bien connue.

Altération par la vapeur d'eau

L'eau s'adsorbe sur la surface du verre dès que l'humidité relative est de 50 %, puis forme une pellicule d'eau dans laquelle précipitent des hydroxydes de silicium et d'aluminium amorphes et des hydroxo-silicates complexes (mais identifiés), ce d'autant plus que l'humidité relative et la température sont élevées et que l'exposition à la vapeur est longue. Cette couche hydratée n'est pas saturée en eau, de sorte que les éléments relâchés par le verre y restent piégés. Elle joue un rôle de barrière protectrice. En revanche, ils sont libérés si le verre est mis en présence d'eau liquide. Ces phénomènes sont sensibles à l'irradiation (radiolyse dans la couche hydratée). Les expériences sur ce sujet restent toutefois peu nombreuses. La vitesse d'altération du verre est toujours faible, elle est fonction de la température, et se stabilise vers une valeur limite.

Altération par l'eau liquide pure

En présence d'eau liquide, il se forme à la surface du verre sain une couche d'hydratation via un échange d'ions par inter-diffusion de protons avec les modificateurs du réseau vitreux, notamment le sodium. Cette première étape d'altération est bien documentée. La couche est saturée en eau et donc propice à la diffusion.

On distingue l'altération dynamique (eau renouvelée) et statique (eau non renouvelée) des verres.

La vitesse initiale (V_0) de lixiviation du verre par de l'eau liquide pure renouvelée continuellement est bien connue. Dans ces conditions, la surface hydratée du verre n'évolue pas, l'eau diffuse jusqu'au verre et hydrolyse les liaisons chimiques des formateurs de réseau

vitreux (Si, B, Al, etc.), libérant les éléments constitutifs de la matrice et ceux emprisonnés. La vitesse V_0 est facile à mesurer. Les valeurs expérimentales pour le verre SON68 sont très nombreuses entre 50 et 100°C (et jusqu'à 250°C), à divers pH. A partir des mesures, on peut établir l'expression de la vitesse de lixiviation en fonction du pH et de la température.

La lixiviation du verre par l'eau liquide pure non renouvelée, c'est-à-dire en régime statique, est un phénomène plus complexe. La libération du silicium, qui n'est plus éliminé par le renouvellement de l'eau fait que la couche d'hydratation évolue vers un gel de silice amorphe (polymère d'acide orthosilicique) avec des agrégats microcristallins de silicates bien identifiés. En effet, le pH augmentant localement près du front d'altération du verre, il favorise le développement des réactions chimiques de polymérisation dans le gel. Le silicium est d'une part mobilisé pour former ce gel, d'autre part il diffuse dans le gel avant d'atteindre l'eau. En même temps, l'eau pénètre par cappillarité au sein du gel pour atteindre le verre sain. Ces mouvements concomitants mais opposés contrôlent l'évolution de l'altération de la matrice vitreuse. Les autres éléments de la matrice doivent aussi diffuser dans le gel avant de passer en solution. Ils peuvent en partie être incorporés dans le gel (actinides par exemple). Cette étape d'hydrolyse/formation du gel est bien décrite et documentée.

Avec le temps la vitesse initiale d'altération V_0 diminue jusqu'à une valeur dite résiduelle constante, appelée V_R. De nombreuses expériences ont été conduites et plus de 10 modèles ont été proposés pour expliquer la chute de la vitesse d'altération sans qu'émerge un modèle général. Les diverses expressions de V_R font intervenir les mêmes paramètres température et pH.

Les expressions des vitesses d'altération du verre nucléaire permettent de simuler la disparition d'un bloc de verre en fonction du temps dans des conditions données et de faire des prévisions. Par exemple, pour des conditions correspondant à une situation de stockage, un bloc de verre de 400 kg disparaîtrait en 300 000 ans. Ces modèles ont été confrontés à des analogues archéologiques ou géologiques qui ont confirmé la bonne représentativité des vitesses d'altération simulées.

IV.2.2.2 Altération en situation de stockage

En conditions de stockage, le verre n'est pas lixivié par de l'eau pure mais par des eaux de composition chimique, de pH et de force ionique variables. Elles rentrent en contact avec le verre altéré par la vapeur d'eau avec sa couche d'hydratation. La radiolyse de l'eau à proximité de la surface du verre R7T7 modifie la composition de la couche d'altération en régime d'altération dynamique et des gels en régime d'altération statique.

L'altération du verre SON68 dans différentes conditions (au contact des eaux du COx ou d'eaux cimentaires, en présence de produits de corrosion du fer) a fait l'objet de nombreuses études qui ont permis de contraindre les modèles de vitesse d'altération des verres.

La composition de l'eau porale du COx est parfaitement connue et peut être facilement reconstituée. A 25°C, elle est neutre (pH ~ 7), réductrice (Eh = -180 mV), et sa force ionique est de 0,1 $mol{\cdot}l^{-1}$. Elle contient comme ions majoritaires Cl^-, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SO_4^{2-} et HCO_3^-. La lixiviation de SON68 par cette eau conduit à des valeurs de V_0 environ 5 à 6 fois plus élevées qu'en eau pure. Les valeurs de V_R sont plus ou moins modifiées dans le même sens. Le rôle du calcium et du magnésium a été mis en évidence.

En percolant à travers les matériaux cimentaires, l'eau altère la composition du ciment et elle se charge en silicates de calcium hydratés et en hydroxyde de magnésium, tandis que le pH devient basique (pH >7) pour se stabiliser vers pH 10,5. Les produits de corrosion des matériaux métalliques par l'eau sont essentiellement la magnétite. Avec l'eau cimentaire, il se forme également autour du verre SON68 des silicates de fer et de magnésium. L'eau en présence de ces composés donne des valeurs de V_R 6 à 12 fois plus élevées qu'en eau pure.

Au final, il est difficile de généraliser les conclusions sur les effets de l'environnement immédiat du verre à partir des expériences de laboratoire couplant toutes les interactions possibles entre le verre, les argiles du COx, les aciers et les matériaux cimentaires en présence d'eau. Dans tous les cas, les actinides sont particulièrement bien retenus dans la couche d'altération, par sorption ou coprécipitation, même en conditions oxydantes.

Pour modéliser les mécanismes pilotant les valeurs de vitesses d'altération du verre V_0 et V_R, en eau pure ou non, l'Andra a retenu des expressions de V_0 et V_R introduisant des paramètres correctifs pour prendre en compte les effets spécifiques des conditions de stockage sur l'altération du verre R7T7.

IV.2.2.3 Termes sources

La quantité de verre qui passe en solution par jour est proportionnelle à la vitesse d'altération et à la surface d'altération du verre en cours de lixiviation. La surface d'altération comprend la la surface externe du colis accessible à l'eau et la surface des fractures et des micro-fissures créées au sein du verre lors de son refroidissement après la coulée. Elle n'est accessible que lorsque le régime d'altération du verre est du type V_R. Au vu des connaissances scientifiques actuelles, l'eau qui n'est pas renouvelée à la surface du verre a le temps de pénétrer plus ou moins dans une fissure selon sa géométrie (orientation, ouverture et profondeur).

La mesure de la surface de verre accessible à la lixiviation d'un bloc de verre R7T7 inactif de 400 kg lors de son refroidissement et la mesure des quantités de verre passant en solution lors de deux expériences de lixiviation en vraie grandeur sur ces blocs de verre (à 90 et 106°C) en régime de lixiviation V_0 et V_R, ont permis d'élaborer le modèle de calcul du terme source de chaque colis à toutes les phases de l'évolution du quartier HA.

IV.2.2.4 Autres verres

Les verres nucléaires autres que R7T7 sont principalement les verres AVM, Umo et Piver. Les plus nombreux sont les verres AVM (3 000 colis). Ce sont des verres borosilicatés. Leur processus d'altération et la composition des couches d'altération sont donc similaires à celle des verres R7T7, et les expressions de V_0 et V_R de ces derniers en rendent compte avec des paramètres spécifiques à chacun d'eux, en eau pure ou en conditions de stockage.

De nombreuses études sur des verres naturels volcaniques non borosilicatés et des verres de synthèse archéologiques valident les observations faites en laboratoire sur les verres nucléaires. Les plus proches sont des verres volcaniques basaltiques, qui sont bien datés, riches en silice (50 %) et dans lesquels l'aluminium remplace le bore. Leur altération sur des temps géologiques, par l'eau de mer ou des eaux hydrothermales, ressemble à celle des verres nucléaires. Dans la couche d'altération, on retrouve des phases minéralogiques identifiées dans les gels. La vitesse d'altération diminue aussi avec le temps, puis tend vers une limite, mais la gamme des valeurs V_R est étendue selon l'âge des verres. Leur vitesse d'altération est de 10 µm

sur quelques millions d'années. Le rôle protecteur des verres sur le relargage des élements chimiques est donc manifeste. Les observations sur les verres archéologiques vont dans le même sens que celles sur les verres volcaniques, sur des échelles de temps plus courtes néanmoins (2 000 ans).

IV.2.3 Choix des paramètres pour les évaluations quantitatives en appui de l'analyse de sûreté

L'Andra a établi des modèles de dégradation par l'eau des verres nucléaires et du relâchement de la radioactivité, qui sont bien paramétrés. Les valeurs des paramètres sont connues avec une bonne précision dans de larges plages de variation pour couvrir toutes les configurations de l'évolution du quartier de stockage HA. La simulation des termes sources peut être conduite à l'échelle du colis, d'un alvéole et du quartier HA.

Les incertitudes sont également prises en compte dans les modèles. Des incertitudes résiduelles existent sur la durée de la phase de resaturation, le pH de l'eau à l'arrivée sur le chemisage et sur les colis, la nature exacte de la couche de gel d'altération protecteur du verre et le temps de basculement des régimes V_0 à V_R, qui jouent sur les valeurs des termes sources en fonction du temps. Elles sont prises en compte au travers d'études de sensibilité.

Pour la simulation des scénarios de sûreté, l'Andra a choisi des hypothèses et des valeurs majorantes des paramètres des modèles concernant la chimie en accord avec le guide de sûreté de l'ASNR. En particulier, elle néglige la longue phase d'altération des verres par la vapeur d'eau et suppose que le stockage est resaturé en eau dès sa fermeture. Cela conduit à simuler une arrivée anticipée des radionucléides et toxiques chimiques relâchés.

La modélisation de l'altération des colis HA entre dans la problématique du temps long au regard des possibilités d'expérimentation limitées dans le temps. Elle doit prendre en compte l'implication de nombreux phénomènes cinétiques. Il est possible au laboratoire d'accélérer la vitesse des processus en augmentant les flux des eaux d'altération, leur agressivité chimique, la température et la cadence de divers couplages des colis avec leur environnement. Les résultats obtenus en régime accéléré doivent alors être transposés en régime d'évolution naturel des processus.

Etant donnée la complexité de l'altération des colis HA, l'Andra a développé et utilise des modèles simplifiés mais robustes et conservatifs, qui prenent en compte les mécanismes prépondérants et conduisent à des résultats enveloppes du comportement des colis HA. L'effet de l'auto-irradiation sur la lixiviation peut être pris comme exemple. Les vitesses V_0 mesurées sur les prises d'essais à la Hague sont plus élevées d'un facteur 10 que sur un verre inactif, mais elles concernent un verre très actif par rapport aux verres qui seront stockés (dont la radioactivité aura décru au moment du stockage). Pour couvrir les incertitudes, l'Andra considère ainsi un scénario de relâchement avec auto-irradiation qui réduit le temps de relâchement d'un facteur 10.

Les modèles d'altération construits par l'Andra sont des modèles paramétriques qui prennent en compte les phénomènes prépondérants :

- la formation à la surface du verre d'une couche formée par réaction entre l'eau, les éléments constitutifs du verre et les éléments exogènes de l'environnement immédiat,

responsable de la chute de la vitesse d'altération et de la libération des éléments du verre ;
- la température ;
- le pH des solutions d'altération.

La couche d'altération est essentiellement un gel de silice qui peut aussi contenir des minéraux silicatés. Les valeurs de température sont calculées dans l'espace et dans le temps. Les valeurs des paramètres retenues par l'Andra sont réalistes et justifiées par la réalité des phénomènes qu'elles représentent. Les modèles V_0 et V_R sont construits à partir de la situation simple de lixiviation du verre par de l'eau pure. La complexité des phénomènes en situation de stockage est ensuite prise en compte par des paramètres correctifs. C'est une démarche prudente et conservative.

Avec les expressions de de V_0 et V_R retenues et les paramètres choisis par l'Andra, les vitesses de lixiviation du verre dans une eau à pH 7 et à une température de 30 /40°C seraient typiquement de 1 µm·an^{-1} en régime de vitesse V_0 et de 0,003 µm·an^{-1} en régime de vitesse V_R. De même, les termes sources calculés pour un bloc de verre de 400 kg sont de 35 g·an^{-1} en régime de vitesse V_0 et de 4,4 10^{-2} g·an^{-1} en régime V_R.

IV.3 Migration des éléments dans le quartier HA

IV.3.1 Généralités

Les éléments libérés par l'altération du verre commencent à migrer vers le COx endommagé au travers de différents milieux poreux saturés en eau, dont le chimisme détermine la nature et la concentration des espèces diffusantes (anions, cations, espèces neutres), puis au travers le couche du COx jusqu'à ses encaissants situés au mur et au toit de la formation. Le transport des espèces chimiques se fait essentiellement par diffusion, les autres phénomènes (convection, thermo-diffusion, thermo-osmose, osmose chimique) restant minoritaires. La taille des pores à travers lesquels diffusent les espèces est trop faible pour autoriser le transport particulaire (colloïdes, etc.).

Le transfert des espèces dans un milieu poreux peut être abordé de plusieurs manières. L'approche suivante pour décrire la diffusion est la plus courante. Un milieu poreux est caractérisé par sa porosité totale ϕ_T (volume de vide /volume total) dont seule une fraction est accessible à une espèce donnée (ϕ_{acc}). Pour en tenir compte, on définit un coefficient de diffusion effectif pour chaque espèce, D_e ($m^2 \cdot s^{-1}$), qui est une fonction de la porosité accessible.

Pour la diffusion, l'Andra a adopté un modèle généralisé basé sur la notion de coefficient de diffusion effectif (D_e) d'une espèce et sur la porosité accessible. Dans ce modèle, le coefficient de diffusion effectif est défini par rapport au coefficient de diffusion de l'espèce dans l'eau pure (D_0) par la relation $D_e = D_0 \times F$, avec F le coefficient de mobilité relative, inférieur à 1, qui traduit le ralentissement des espèces dû à la géométrie et à la tortuosité de l'espace poral et aux interactions avec les surfaces minérales. Cette approche est validée par une explication de nature microscopique. Le coefficient de mobilité relative est considéré comme identique pour tous les anions (pris égal à celui des chlorures), identique pour tous les cations (pris égal à celui du césium), et identique pour les espèces neutres (pris égal à celui de l'eau tritiée). Les résultats expérimentaux montrent que le coefficient de mobilité relative pour les cations est supérieur

à celui des anions du fait d'une porosité accessible plus faible pour les anions (en lien avec le phénomène d'exclusion anionique).

De plus, une espèce peut être pour tout ou en partie retenue par sorption sur la phase solide. Le coefficient de distribution K_d ($l \cdot kg^{-1}$), qui est le rapport de la concentration de l'espèce retenue sur la phase solide sur la concentration de l'espèce en solution, permet de prendre en compte ces phénomènes de sorption. Ces grandeurs peuvent être déterminées par des expériences de diffusion de traceurs.

Les études pour mesurer les coefficients de diffusion et autres paramètres dans les conditions physico-chimiques du stockage sont nombreuses et approfondies. Elles ont porté sur la spéciation des espèces en fonction du pH, du potentiel redox (Eh) et de la composition des solutions. Pour cela, l'Andra a développé en partenariat avec d'autres établissements de recherche une base de données thermochimiques spécifique, appelée Thermo-Chimie, qui est en accessible libre (https://www.thermochimie-tdb.com/). Les valeurs des paramètres de migration (De, ϕ_{acc} et Kd) ont également été mesurées pour la diffusion de l'eau tritiée et de différents éléments (environ 50) dans des argiles modèles compactées (bentonite, illite, montmorillonite, etc.), dans les matériaux cimentaires, dans des échantillons du COx sain et altéré, et dans le champ proche des quartiers HA (d'autres mesures concernent la quartier MAVL, les scellements, les formations encaissantes du COx). Il en résulte une quantité de données considérable qui permet de définir des paramètres enveloppe selon les différentes conditions chimiques.

Toutes ces données permettent de décrire des tendances générales sur la migration des éléments chimiques. L'Andra a ensuite choisi des valeurs de référence conservatives pour mener les calculs de performance.

IV.3.2 Diffusion des espèces chimiques dans les alvéoles HA

Les éléments diffusent depuis les colis de déchet jusqu'au COx altéré dans une zone d'extension métrique constituée de produits de corrosion du fer en milieu anoxique et d'argilites ayant intéragi avec les matériaux cimentaires situées à proximité. La composition élémentaire de l'eau interstitielle dans cette zone a été établie expérimentalement.

Elle est réductrice (Eh ~ -400 mV vers pH 6-7) en raison des couples redox Fe / phases porteuses de fer (carbonate, silicates, oxydes) et renferme des anions (sulfates et anions provenant des phases solides mise à l'équilibre). Compte tenu de la complexité des interactions entre solides et solutions dans cette zone, aucune mesure directe de diffusion n'a été conduite. La nature des espèces susceptibles d'être retenues ou de diffuser est établie sur la base de données Thermo-Chimie. Ainsi, les actinides (sauf U) ont des Kd très élevés et sont essentiellement retenus dans le quartier HA.

En conclusion, la phénoménologie de la diffusion des éléments depuis le quartier HA jusqu'au COx sain est compliquée par le fait que le milieu entourant les colis dégradés sera très hétérogène et complexe, et reste difficilement accessible expérimentalement. Dans un tel milieu, le comportement des éléments chimiques a été modélisé par une approche thermodynamique, en faisant des hypothèses très conservatives pour décrire la diffusion des radionucléides dans les alvéoles HA.

IV.3.3 Diffusion des espèces chimiques dans le COx sain

Les coefficients de diffusion dans le COx sain ont été mesurés en laboratoire et *in situ* au laboratoire souterrain (expérience DIR ménée sur 4 ans). Des tentatives ont été effectuées pour exploiter les traceurs naturels dans le COx (Cl^-, isotopes de l'oxygène) avec des résultats peu convaincants. Le coefficient de diffusion effectif pour les molécules d'eau tritiée (HTO) et les chlorures (Cl^-) est évalué expérimentalement respectivement à $2,2 \pm 0,8\ 10^{-11}\ m^2 \cdot s^{-1}$ et $4,9 \pm 2,3\ 10^{-12}\ m^2 \cdot s^{-1}$.

IV.3.4 Choix des paramètres pour les évaluations quantitatives en appui de l'analyse de sûreté

Pour caractériser la diffusion des espèces dans le quartier HA, l'Andra considère pour chaque alvéole deux domaines : la partie utile de l'alvéole où sont déposés les déchets et le bouchon de scellement connecté à la galerie remblayée. Dans le scénario SEN, la partie utile est remplie à 35 % de colis. Les coefficients de diffusion dans les produits de corrosion/argilites sont pris égaux à celui de l'eau tritiée pour toutes les espèces chimiques, en supposant également que toutes les espèces ont accès à l'intégralité de la porosité. Tous les K_d sont considérés comme nuls, ce qui est aussi une hypothèse très conservative puisqu'il n'est pas considéré de rétention des espèces sur les phases solides. Enfin, la solubilité est prise infinie, ce qui est également conservatif. En prenant un coefficient de diffusion effectif de l'eau tritiée de $2,3\ 10^{-9}\ m^2 \cdot s^{-1}$ et une porosité de 17 %, la vitesse de déplacement des espèces chimiques relâchées depuis la surface du verre qui s'altère vers la partie utile de l'alvéole et le COx altéré est de $22\ \mu m \cdot an^{-1}$.

IV.3.5 Conclusion

Les valeurs des paramètres retenues pour estimer le transfert diffusif des éléments dans le quartier HA sont appropriées pour une analyse de sûreté. Il ne s'agit pas d'une prévision réaliste de leur vitesse de migration dans cette partie du stockage mais d'une estimation majorante de cette vitesse de migration. Les estimations surévaluées auxquelles conduisent les valeurs retenues montrent que les éléments les plus mobiles libérés par l'altération du verre atteindraient le COx sain en quelques milliers d'années. Les actinides seraient quasiment totalement retenus dans le quartier HA.

IV.4 Termes sources du quartier MAVL

IV.4.1 Généralités sur les colis de déchets MAVL

Les familles de déchets MAVL sont très nombreuses. L'Andra les classe en catégories selon leur nature chimique. Par exemple : colis contenant seulement des sels, colis d'enrobés bitumineux contenant des sels, colis contenant des matières organiques, colis de matériaux métalliques. Il existe aussi 5 familles de colis de déchets MAVL vitrifiés. Tous les colis de déchets MAVL sont athermiques ou peu exothermiques et, à l'exception des déchets métalliques, sont le siège de phénomènes de radiolyse. Les colis de stockage sont regroupés dans les alvéoles MAVL selon

leur compatibilité chimique. Les déchets MAVL contiennent des actinides, des produits de fission et d'activation.

Les colis primaires de déchets métalliques d'Orano (anciennement Cogema puis Areva) sont constitués de coques (zircaloy) et embouts (inox) compactés (environ 50 000 colis). Ils sont chimiquement homogènes. Ceux provenant du CEA et de EDF sont hétérogènes en ce sens qu'ils peuvent renfermer plusieurs composants métalliques, ou non, qui sont bloqués dans du ciment (9 000 colis CEA et 5 000 colis EDF). Orano stockera également environ 14 000 colis de boues salines sèches et 13 500 colis de boues salines enrobées dans du bitume. Ces données sont à comparer avec les 55 000 colis HA qui sont chimiquement homogènes et identiques.

IV.4.2 Perturbations chimiques dans le quartier MAVL

Les études sur la dégradation des colis de déchets MAVL, sur les termes sources et sur la migration des éléments dans le quartier MAVL sont nombreuses. La phénoménologie de dégradation des colis par famille et la nature des termes sources a été analysée par l'Andra de manière très complète.

IV.4.2.1 Perturbations chimiques en période l'exploitation

Le creusement des alvéoles de grandes dimensions et l'exposition à l'air des alvéoles ventilées pendant la période d'exploitation d'une durée séculaire conduit à plusieurs perturbations chimiques : oxydation des pyrites du COx, hydrolyse et carbonatation des composants cimentaires, formation de minéraux secondaires et de façon concomitante désaturation en eau des matériaux cimentaires et du COx en champ proche. Ils dépendent de l'humidité relative de l'air. Ces pertubations ont été bien analysés. Leur extension lors de la période d'exploitation est limitée, d'ordre métrique. La radiolyse de la matière organique et de l'eau résiduelle des déchets donne des produits gazeux (hydrogène, molécules oraganiques volatiles, etc.) évacués par la ventilation. La conséquence chimique de ces phénomènes sera la modification de la composition de l'eau porale du COx sain lors la phase de resaturation en eau du stockage (mais qui sera aussi marquée par d'autres perturbations) et la modification de la porosité des matériaux cimentaires. Ces phénomènes sont sans conséquence sur le quartier MAVL en exploitation.

IV.4.2.2 Phénoménologie sommaire après fermeture des alvéoles

La resaturation complète du stockage en eau est estimée à plus de 100 000 ans. Elle est précédée par les grands transitoires thermiques et hydraulique-gaz évoqués à propos du quartier HA. Dans le quartier MAVL, la température revient à sa valeur initiale après 1 000 ans. La pression interstitielle de l'eau revient à sa valeur originelle (4,5 MPa) après 10 000 ans. La pression d'hydrogène liée à la corrosion anoxique des aciers atteint une valeur maximale d'environ 7,5 MPa vers 30 000 ans.

Les parois des alvéoles MAVL et les voussoirs sont en béton. Les bouchons de fermeture d'alvéole sont en matériaux argileux. Lors de la resaturation en eau du stockage, l'eau porale du COx oxydé rencontre ces matériaux en premier, en modifie la composition et change elle-même de composition. Au contact de cette eau, la dégradation des colis béton de stockage des déchets MAVL conduit à charger l'eau d'éléments chimiques constitutifs des bétons puis

d'éléments constitutifs des matrices d'enrobage ou de blocage des déchets des colis primaires, ou encore d'éléments provenant de la corrosion des matériaux métalliques activés ou contaminés. Il en résulte, au total et au cours du temps, des perturbations alcaline, saline et organique, ainsi que l'apparition de produits de corrosions des métaux. Ces perturbations pilotent la migration des radionucléides et toxiques chimiques. Par ailleurs, la radiolyse est importante et crée des espèces chimiques exogènes.

Ainsi, d'un point de vue chimique, les phénomènes qui se développent dans le quartier MAVL avec l'arrivée de l'eau sont plus complexes que dans le quartier HA, et les termes sources et la migration des éléments sont plus difficiles à décrire et à quantifier.

IV.4.2.3 Dégradation des matériaux cimentaires

La dégradation des matériaux cimentaires des alvéoles MAVL (revêtements de paroi, voussoirs, colis de stockage) commence progressivement avec l'arrivée d'eau porale du COx et entraîne une alcalinisation progressive de l'eau des alvéoles et du COx. Elle est appelée perturbation alcaline. C'est la première et la plus importante de toutes les perturbations du quartier MAVL compte tenu de la quantité de matériaux cimentaires et de leur réactivité vis-à-vis de l'eau.

La dégradation est lente, continue et complexe, mais est bien documentée dans la littérature. Un modèle thermo-cinétique dynamique en rend compte. Il est fondé sur les réactions chimiques entre l'eau et les phases constitutives du ciment, et sur la diffusion de l'eau dans le ciment et des ions constitutifs de ce dernier (Ca^{2+}, Al^{3+}, Si^{4+} et OH^-) vers le COx.

Un indicateur simple de dégradation des matériaux cimentaires est le taux de dissolution de la phase constituée par les silicates de calcium hydratés (CSH[1]), lié à la variation de pH de la solution au contact. On considère que le matériau commence à être altéré quand la portlandite ($Ca(OH)_2$) est dissoute (pH 12,5). La fin de l'altération correspond à la dissolution des CSH jusqu'à la valeur C/S = 0,8 (pH 10,5). Ces phénomènes sont pilotés dans le quartier MAVL par l'arrivée de l'eau porale du COx sur les parois de l'alvéole et de l'évolution de l'état hygrométrique au sein des alvéoles pour les colis de stockage. Après quelques 100 000 ans, l'Andra considère que les parois des alvéoles sont altérées sur toute leur épaisseur et que les conteneurs ne sont altérés que sur quelques centimètres. Avant d'atteindre cette date, les composants de l'alvéole se sont progressivement fracturés. L'évolution mécanique du quartier MAVL accèlere la dégradation des matériaux cimentaires et amplifie les cinétiques des phénomènes.

Quant à la vitesse de corrosion anoxique des armatures métalliques en milieu alcalin, elle est de l'ordre de 1 $\mu m \cdot an^{-1}$. Elles sont ruinées en quelques milliers d'années après l'arrivée de l'eau.

IV.4.2.4 Interactions eau-colis MAVL

La dégradation des colis primaires a lieu en milieu de « dégradation cimentaire » où les compositions des solutions aqueuses sont modifiées au fur et à mesure du relâchement des éléments des colis, en commençant par la corrosion des enveloppes généralement métalliques.

---

[1] CSH : silicates de calcium hydratés, produits de l'hydratation du ciment Portland, avec C, S et H représentant la proportion de CaO, SiO_2 et H_2O dans la phase cimentaire.

De plus, elle est spécifique de la typologie de l'alvéole de stockage et particulièrement marquée dans les alvéoles des colis salins et organiques.

IV.4.2.5 Corrosion des colis de déchets métalliques

La corrosion des matériaux métalliques par l'eau en conditions oxydante ou anoxique est bien documentée. Elle concerne les enveloppes en acier inox ou en acier non allié de quasiment tous les colis des quartiers HA et MAVL. Le quartier MAVL renferme des colis de déchets métalliques de compositions différentes (aciers inox, alliages de nickel, de zirconium, de magnésium, aluminium et autres métaux), qui sont soit activés en subsurface soit contaminés en surface.

La corrosion est considérée comme généralisée. Dans le quartier MAVL, elle a lieu a minima en milieu anoxique et alcalin cimentaire (pH 10 à 12), éventuellement complexant localement, selon les alvéoles.

Chaque type de corrosion métallique est caractérisé par une vitesse de corrosion instantanée dans des conditions données. La corrosion anoxique est due à la réduction de l'eau par un métal, produisant de l'hydrogène et formant une couche d'oxydes en surface, en général protectrice, jusqu'à sa desquamation périodique ou sa dissolution due à un changement local de composition de la solution. La corrosion n'est pas continue et, de fait, c'est une vitesse moyenne V_{corr} qui est retenue.

La localisation des radionucléides sur ou dans les pièces métalliques et couche d'oxydes est connue et bien documentée. La corrosion de toutes les nuances d'acier, des nombreux alliages de zirconium et autres alliages a été étudiée en détail dans les conditions de stockage, en mettant l'accent en particulier sur les effets du pH, du potentiel redox (Eh), de la température, de la radiolyse et de la présence de molécules organiques.

Pour ce qui concerne les termes sources, le relâchement des radionucléides présents en surface est considéré comme instantané, ce qui est conservatif, et limité par leur solubilité en présence des minéraux avec lesquels ils sont en équilibre. Pour les autres élements qui sont en subsurface dans le métal, le relâchement est associé à la vitesse de corrosion si la couche d'oxyde est très fine, ou est retardé si la corrosion a formé une couche d'oxydes plus épaisse, qui impose alors, ou non, aux radionucléides de diffuser dans cette couche. La valeur typique de la corrosion moyenne des alliages de zirconium est de 1 à 2 $nm{\cdot}an^{-1}$, celle des aciers inoxydables et alliages de nickel de 1 $nm{\cdot}an^{-1}$, et celle des aciers non alliés de 100 $nm{\cdot}an^{-1}$. La vitesse de corrosion des alliages d'aluminium peut atteindre 50 $mm{\cdot}an^{-1}$, celle des alliages de magnésium est comprise entre 50 et 500 $\mu m{\cdot}an^{-1}$. Toutes ces valeurs sont très sensibles à l'environnement, et les valeurs de V_{corr} peuvent varier sur une large gamme. Selon les valeurs de V_{corr}, l'Andra classe les matériaux métalliques en « non réactifs » ou « réactifs ».

IV.4.2.6 Dégradation des colis de déchets salins

Les colis de déchets salins renferment des composés chimiques résultant de traitements d'effluents par co-précipitation des radionucléides. Les co-précipités sont en général des sels simples (nitrates, nitrites, sulfates, etc.), des hydroxydes d'éléments lourds ou des sels doubles de ferrocyanure de potassium et de nickel. Avec les excès de réactifs chimiques et les ajouts pour faciliter la précipitation, ils constituent les boues de co-précipitation de traitement.

L'association de certains radionucléides aux composés a bien été identifiée, pour d'autres elle reste incertaine.

Colis de déchets non enrobés dans le bitume

Les boues (provenant essentiellement de la STEL de l'usine UP2 de la Hague) sont déshydratées, compactées sous forme de pastilles, lesquelles sont soit enrobées dans du ciment, soit bloquées par du sable dans des fûts en inox. On distingue les sels solubles de type nitrate de sodium (environ 20 % par colis) et peu solubles (voire insolubles) de type sulfate de baryum. La radiolyse de l'eau résiduelle des pastilles ou constitutive des sels produit de l'hydrogène. Toutes les caractéristiques de ces sels et les phénomènes afférents (reprise par l'eau, radiolyse, solubilités des sels) sont connus.

L'arrivée d'eau sur les sels est estimée entre dix et cent mille ans. La reprise des sels par l'eau vapeur et liquide pure et dans diverses solutions « cimentaires » est bien documentée. Elle est rapide. Dans le milieu saturé en eau où les dissolutions sont concomittantes, la vitesse de reprise peut varier par le jeu d'équilibres compliqué entre les ions constitutifs des sels (voire autres composés solides présents localement) et les espèces en solution. La réduction anoxique des nitrates en nitrite au contact des aciers joue également un rôle.

La conséquence globale du relâchement massif des sels est l'augmentation de la force ionique de l'eau, qui joue à la fois sur la solubilité des phases solides, la diffusion des espèces chimiques et leur capacité de rétention, et sur la formation d'un panache salin dans l'alvéole et en dehors de l'alvéole, perturbant le COx entre les alvéoles.

Pour ces colis, le modèle de relâchement des espèces radioactives considère qu'ils sont relâchés avec la dissolution des sels dès l'arrivée d'eau, lorsque l'enveloppe du colis n'assure plus l'étanchéité. Leur concentration maximale est limitée par la solubilité des phases minérales. Ainsi le modèle ne dépend que de deux paramètres, la concentration maximale de l'élément en solution et le flux d'eau.

Colis de déchets enrobés dans du bitume

Les bitumes ont un grand pouvoir agglomérant, une bonne inertie chimique, sont insolubles dans l'eau mais sensibles à la radiolyse. Ils ont largement été utilisés par le CEA et Cogema comme matrice d'enrobage à chaud (150°C, bitume liquide) des boues de co-précipitation pour produire les colis d'enrobés bitumineux où des grains et agrégats de sels (boues calcinées) sont dispersés dans la matrice. Typiquement les colis renferment 40 % de sels dont au maximum 20 % sont solubles. Leur activité beta-gamma est de 1 à 2 TBq et alpha de 0,2 TBq. Ces colis ont fait l'objet de très nombreuses études pour leur fabrication et leur comportement tant en période d'exploitation du stockage (stabilisation, radiolyse, résistance au feu) qu'après fermeture de celui-ci (relâchement des sels et espèces diverses, gonflement par reprise d'eau). La radiolyse conduit à la modification physique du bitume et à la production d'hydrogène et d'acides carboxyliques. L'augmentation de la viscosité (phénomène de durcissement) avec l'activité est importante. Cette modification majeure est modélisée. Le rendement radiolytique de l'hydrogène est connu et l'accumulation de bulles d'hydrogène, qui conduit à un gonflement de la matrice, est également modélisé.

Le comportement de ces colis vis-à-vis de l'eau est modélisé par les modèles « Colonbo ». Ces modèles reposent sur des hypothèses simplificatrices (température comprise entre 20 et 30°C,

bitume visqueux, enrobé homogène, sels solubles assimilés à $NaNO_3$ avec une teneur inférieure à 20 %, sels insolubles assimilés à $BaSO_4$, pas de bulles, libre expansion du bitume, eau de composition constante). Ces modèles sont construits spatialement sur l'existence d'une zone altérée de diffusion en avant du front de dissolution de $NaNO_3$ (qui modifie le gradient de concentration de l'eau), le front de dissolution lui-même, et une zone non altérée. L'eau diffuse partout, la matière ne diffuse que dans la zone altérée. Il existe plusieurs cas selon le degré de simplification du modèle.

Ces modèles reposant sur des phénomènes compliqués et sur un comportement d'espèces portant la radioactivité mal connu, l'Andra utilise aussi un modèle simplifié mais conservatif basé sur la solubilité des sels, qui considère que toute la radioactivité est associée au sel le plus soluble ($NaNO_3$), et que celui-ci est dissous dès l'instant où l'eau arrive au contact du bitume. Aucune fonction de confinement n'est attribuée au bitume, le relâchement est instantané. C'est la vitesse d'arrivée d'eau qui contrôle le terme source. En effet, des expériences ont montré que les valeurs des vitesses de corrosion pour les radionucléides sont 100 à 1 000 fois inférieures à celles des sels.

IV.4.2.7 Dégradation des colis de déchets organiques

Les déchets MAVL dits organiques sont des polymères variés d'usage courant. Une vingtaine d'entre eux sont bien identifiés. Les plus importants en quantités sont la cellulose, le polychlorure de vinyle (PVC), le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP) et des résines échangeuses d'ions. Tous les polymères sont intrinsèquement dégradables par radiolyse et par hydrolyse au contact de l'eau alcaline. Il en résulte la formation de multiples molécules exogènes au stockage dans les colis. La radiolyse et l'hydrolyse de la matière organique sont bien connues et ont été spécifiquement étudiées sur le plan cinétique pour les conditions de stockage présentes dans Cigéo. Ce sont des processus très lents.

Toutes les molécules issues de la dégradation ont un double comportement. Elles diffusent dans les matériaux et y sont plus ou moins retenues, modifiant ainsi la capacité de rétention de ces derniers pour d'autres espèces, par exemple les radionucléides. Elles agissent en solution au-delà d'une concentration seuil comme des complexants vis-à-vis des espèces provenant des déchets et changent leur spéciation, donc leur relâchement et les caractéristiques de leur migration.

D'une façon générale, les interactions et effets réciproques entre molécules organiques, éléments d'intérêt et matériaux des alvéoles MAVL sont très bien décrits. Pour ces colis le modèle de relâchement est un relâchement piloté par la solubilité des éléments dès que l'eau arrive sur les déchets, solubilité qui est fonction des concentrations en molécules organiques.

IV.4.3 Choix des paramètres pour les évaluations quantitatives en appui de l'analyse de sûreté

Le relâchement des radionucléides à partir des différents colis de déchets MAVL résulte de nombreux phénomènes chimiques de dégradation qui agissent simultanément. Ces phénomènes sont bien identifiés selon les alvéoles et par famille de colis, mais il n'existe pas de modèles qui puisse les prendre en compte sans simplification. Aussi, les modèles simplifiés de relâchement des radionucléides choisis par l'Andra sont très conservatifs. Dans l'ensemble,

ils conduisent à considérer que tout l'inventaire en radionucléides des colis est relâché dans les alvéoles resaturées en eau sans réel confinement par les composants des colis. Ce sont les équilibres entre minéraux radioactifs et radionucléides qui contrôlent la solubilité des radionucléides. L'accès à la spéciation directe des radionucléides dans le quartier MAVL est quasi impossible, soit en raison de la teneur élevée en sels, soit de la présence de molécules organiques exogènes aux colis.

L'Andra a fait des choix de paramètres pour évaluer les termes sources. L'Andra considère ainsi que seuls les colis de déchets métalliques activés compactés et de sels enrobés dans du bitume assurent un confinement des radionucléides. Pour tous les autres colis, toute l'activité est supposée libérée dès que l'eau arrive sur eux aux différents horizons de temps indiqués précédemment. Cette hypothèse est conservative.

Pour les colis de déchets métalliques compactés la dégradation, est une corrosion généralisée des composants et les valeurs de V_{corr} attendues sont comprises entre 10 et 20 nm·an^{-1}. L'Andra tient compte de la présence éventuelle dans les colis de fines et éclats millimétriques et des couches de zircone (entre 5 et 20 %) à la surface desquels le relâchement est pris comme instantané.

Pour 97 % des colis enrobés bitumineux, le modèle de relâchement est, en situation de référence (SEN-Ref), le modèle Colonbo pendant 1 000 ans (soit la durée de vie du conteneur) puis le modèle solubilité de $NaNO_3$ et en situation enveloppe (SEN-Env), le modèle solubilité de $NaNO_3$. Pour les 3 % restants, le modèle est celui de la solubilité de $NaNO_3$, quel que soit le scénario.

Les valeurs des paramètres retenues par l'Andra pour les calculs de performances à partir des modèles sont les valeurs maximales enveloppes des valeurs mesurées. Les modèles utilisés pour décrire le relâchement des radionucléides sont, par construction, conservatifs. Les choix de l'Andra ajoutent des conservatismes aux calculs basés sur ces modèles, de sorte que ceux-ci conduisent à une surévaluation des termes sources.

IV.5 Migration des élements dans le quartier MAVL

IV.5.1 Perturbations chimiques et migration des éléments

Les conditions de migration par diffusion des radionucléides relâchés depuis les alvéoles MAVL jusqu'au COx sain dépendent des alvéoles.

Dans tous les cas, les radionucléides des colis de déchets sont relâchés en milieu alcalin anoxique réducteur (en lien avec la présence de H_2). Dans le cas des alvéoles contenant des colis renfermant des sels ou de la matière organique, le milieu est également chargé en sels et en molécules organiques.

Dans chaque situation la diffusion globale des radionucléides dépend, une fois le stockage resaturé en eau de :

- la diffusion des radionucléides plus ou moins solubles dans les milieux aqueux au contact des matériaux dégradés (colis primaires et colis de stockage) ;
- leur diffusion à travers des matériaux cimentaires dégradés de la paroi des alvéoles ;

- leur diffusion dans le COx altéré en extrados de cette paroi (perturbation alcaline, saline, organique).

Chacune des étapes est caractérisée par des paramètres de diffusion (D_e, ϕ_{acc} et Kd).

IV.5.2 Alvéoles avec colis ne contenant ni sels ni matière organique

Les radionucléides sont relâchés dans les milieux alcalins, voire hyperalcalins (9,5 < pH < 14), au contact des colis de stockage où les anions hydroxydes OH^- conduisent à la formation d'espèces hydrolysées plus ou moins solubles et mobiles, et de précipités. Ces espèces diffusent ensuite à travers les matériaux cimentaires dégradés de la paroi de l'alvéole et enfin dans le COx altéré, en extrados de la paroi, au cours de la perturbation alcaline. Du point de vue de la chimie, c'est la situation la plus simple de celles que l'on peut rencontrer dans le quartier MAVL. Elle sert de référence pour décrire le comportement des radionucléides dans les autres situations.

IV.5.3 Milieux cimentaires

Les milieux cimentaires concernés ici sont ceux propres aux alvéoles MAVL (en dehors de ceux des galeries et scellements). Les compositions des matériaux cimentaires (pâtes, bétons éventuellement armés) sont bien définies. Ce sont en général des ciments de type Portland ou siliceux bien caractérisés sur le plan minéralogique et de leur réactivité chimique vis-à-vis de diverses agressions (eau, CO_2, divers anions comme les chlorures ou sulfates).

Les données expérimentales sur la chimie des éléments lourds (actinides, lanthanides, produits de fission à caractère métallique) en milieux alcalin et les calculs thermodynamiques menés à partir des données rassemblées dans la base Thermo-Chimie permettent de conclure à de très faibles solubilités des radionucléides, contrôlées par la présence de phases solides (hydroxydes, oxydes, carbonates). En revanche l'iode et le chlore restent à l'état d'anion simples (I^- et Cl^-), qui sont mobiles. Les nombreuses études conduites spécifiquement dans le cadre du stockage en couche géologique profonde confirment les faibles solubilités des radionucléides et permettent de définir les concentrations maximales des espèces à saturation (C_{sat}), par rapport à une phase solide donnée, et la concentration des espèces en solution pour tous les radionucléides.

La rétention des éléments lourds est très élevée sur les phases des matériaux cimentaires dégradés. Celles de I^- et Cl^- restent très faibles. L'étude des données et mécanismes permet d'établir des gammes de valeurs de Kd pour la sorption des radionucléides sur des matériaux cimentaires sains et altérés.

La diffusion des radionucléides dans ces milieux poreux hétérogènes et réactifs a été étudiée sous de nombreux aspects (matériaux sains et altérés, pH, température, effets d'un champ électrique), mais il très difficile d'en déduire des lois généralisées. Seules quelques valeurs fiables de D_e et ϕ_{acc} pour HTO et Cl^- pour quelques systèmes peuvent être retenues, les autres restant indicatives.

IV.5.4 COx perturbé par des milieux cimentaires

La perturbation alcaline du COx au contact des matériaux cimentaires est due à la dégradation des parois des alvéoles, avec la diffusion d'une eau alcaline chargée en silicates de calcium vers le COx. Elle modifie la composition minéralogique de l'argilite. Un indicateur simple de perturbation du COx est le taux de transformation des argiles de type smectites en illites. Cela modifie la porosité du COx, ses propriétés d'échange d'ions et sa capacité de gonflement. L'Andra considère qu'après 100 000 ans, toutes les smectites du COx ont disparu sur 50 cm d'épaisseur et qu'il faut 10 fois plus de temps pour que la transformation atteigne 1 m.

Les conséquences de cette perturbation alcaline sur la spéciation des radionucléides ont été étudiées au laboratoire et *in situ*. Au contact des argilites, il peut y avoir des précipitations de phases secondaires silicatées. L'augmentation du pH de l'eau porale des argilites conduit à une spéciation théorique des radionucléides peu différente de celle des milieux alcalins. Les valeurs de solubilité des radionucléides peuvent aussi être considérées proches de celles dans ces milieux.

Concernant les processus de diffusion, il y a peu d'études. Les valeurs de Kd des radionucléides dépendent des mécanismes d'interaction avec le COx. Par exemple celle du césium Cs^+ diminue d'un facteur 10 par rapport au COx sain car il entre en compétition avec K^+. Cela est valable pour les radionucléides présents sous forme cationique. Pour les autres, il n'y a pas de données.

L'amplitude de la modification minéralogique dominante ne conduit pas à des variations significatives des paramètres de diffusion par rapport à ceux dans du COx sain. La valeur de $D_{e(Cl-)}$ diminue plus que celle $D_{e(HTO)}$ sans toutefois que cette dernière soit très affectée.

IV.5.5 Alvéoles contenant des colis salins

IV.5.5.1 Milieux cimentaires salins

La concentration des sels dans les milieux proches des colis contenant des sels peut être élevée, plusieurs $mol \cdot l^{-1}$ pour les sels très solubles ($NaNO_3$, KNO_3, ou Na_2SO_4), mais reste en dessous de 1 $mol \cdot l^{-1}$ pour les autres (carbonates, phosphates, chlorures, fluorures, ammonium, …). Les sulfates apportés par les sels peuvent conduire, dans un milieu alcalin ou hyper-alcalin au contact des argilites, à la précipitation de phases silicatées (ettringite, gypse, etc.) et modifier la minéralogie des ciments.

La présence de sels augmente la force ionique du milieu, modifiant les équilibres chimiques. Elle augmente en général la solubilité des phases solides conduisant à la formation d'espèces cationiques d'un facteur 10 et reste sans influence sur la solubilité de celles conduisant en milieu alcalin à la formation d'anions. La spéciation des radionucléides dans les solutions salines a été évaluée sur la base des données thermodynamiques. Elle reste toutefois incertaine, car le calcul des coefficients d'activité des espèces dans ces milieux de force ionique élevée à l'aide des modèles classiques de la physico-chimie des solutions recquiert des paramètres d'interaction méconnus.

La perturbation saline des matériaux cimentaires modifie leur capacité de rétention et influence les valeurs des paramètres de diffusion. Quelques valeurs de Kd ont été mesurées. Elles diminuent en fonction de la force ionique, ce qui est probablement une tendance

générale. De même les études de diffusion de HTO et Cl^- en milieux cimentaires plus ou moins saturés en eau ne conduisent pas à des valeurs indiscutables de D_e.

IV.5.5.2 COx perturbé par les sels

La perturbation saline du COx est due à la diffusion des sels dans le COx en extrados des alvéoles. Un indicateur simple de l'extension du panache salin est la force ionique de l'eau dans le COx. L'Andra retient qu'en 10 000 ans après la resaturation l'eau de l'alvéole aura une force ionique de 5 $mol \cdot l^{-1}$ et que 1 000 ans après la force ionique sera de 0,2 $mol \cdot l^{-1}$ à 10 m dans le COx. A 100 000 ans le panache aura quasi disparu à cette distance.

L'effet de la présence de $NaNO_3$ sur la spéciation des radionucléides et sur leur solubilité a été évaluée par une approche thermodynamique. Elle met en évidence deux effets, l'un dû à la complexation et l'autre dû à l'augmentation de la force ionique, qui s'ajoutent ou se compensent selon les radionucléides.

Les modifications des argilites du COx par les solutions salines ont été très étudiées. Les valeurs de Kd, D_e ont été mesurées et montrent que la présence de sels modifie la double couche électrique à l'interface des minéraux argileux et par là même le mécanisme de diffusion des ions. Cela a des conséquences sur le comportement des radionucléides vis-à-vis du COx.

Pour les radionucléides, on dispose de beaucoup de données pour les valeurs de Kd en fonction de la force ionique, la tendance générale étant, pour tous les éléments, une diminution des valeurs de Kd avec l'augmentation de la force ionique. Pour les cations, d'une façon générale les valeurs de Kd sont réduites de facteurs variables allant jusqu'à 10 par rapport au COx sain.

De même de nombreuses mesures de diffusion sur des échantillons de COx en présence de sels montrent que les valeurs $D_{e(HTO)}$ diminuent légèrement quand la force ionique dépasse 1 $mol \cdot l^{1}$. Des expériences sur l'effet d'exclusion anionique en comparant $D_{e(Cl-)}$ et $D_{e(H2O)}$ montrent que le comportement des ions Cl^- se rapproche de celui de HTO avec l'augmentation de la force ionique. Pour les cations, les valeurs de D_e ont tendance à diminuer, jusqu'à 50 % pour Cs^+.

IV.5.6 Alvéoles contenant des déchets organiques

IV.5.6.1 Milieux cimentaires perturbés par des molécules organiques

Le comportement de quelques molécules organiques dans les milieux impactés par les matériaux cimentaires a été étudiée sous les aspects de solubilité, de rétention et de diffusion. Ces molécules sont en général peu retenues et les expériences n'ont pas permis d'obtenir de valeurs de D_e représentatives. Ces études visaient à éclairer les mécanismes d'interaction avec les minéraux des ciments.

Dans les alvéoles libérant des molécules organiques, la solubilité des radionucléides augmente. Bien qu'il y ait quelques exceptions pour des couples radionucléides-molécules organiques, ces tendances sont générales. Elles sont confirmées par de nombreuses données tant expérimentales que théoriques. Il existe en chimie une classification des capacités de complexation des éléments avec les molécules organiques, et suivant leur degré d'oxydation. Elle montre que l'iode et le chlore sont les moins sensibles et restent toujours à l'état d'anion.

En présence de molécules organiques, la rétention des radionucléides sur les matériaux argileux diminue avec l'augmentation de leur concentration. Les études de rétention concernent des systèmes particuliers (couple radionucléides-molécule-phases cimentaire). Aucune donnée ne permet d'évaluer la diffusion des radionucléides dans les milieux cimentaires organiques.

IV.5.6.2 COx perturbé par les molécules organiques

La perturbation organique du COx a pour origine la diffusion des molécules organiques en dehors des alvéoles. L'extension du panache peut être évaluée par la concentration de molécules de référence comme l'acide iso-saccharinique. La simulation jusqu'au million d'années montre que le panache organique occupe la partie du COx située entre les alvéoles MAVL concernées mais que les concentrations des molécules restent bien en deça des seuils où elles deviennent complexantes vis-à-vis des radionucléides.

Le comportement des molécules organiques dans le COx (rétention et diffusion) a été beaucoup étudié, ainsi que les effets de compétition entre molécules. Les mesures de coefficient de diffusion montrent des corrélations entre D_e et la masse moléculaire des molécules. Ces études visent surtout à expliquer les propriétés du COx vis-à-vis des radionucléides.

L'influence des molécules organiques dans les milieux alcalins sur la spéciation des radionucléides est considérable en raison de leur pouvoir complexant. L'Andra a réuni les études de solubilité de radionucléides et d'identification des équilibres de complexation. Ces études ne correspondent pas toujours à la composition des eaux porales du COx de sorte que seules les tendances de complexation des radionucléides par une molécule donnée sont significatives. Les molécules organiques libérées dans les alvéoles constituent un cocktail, ce qui rend la spéciation des radionucléides incertaine.

Les mesures de rétention concernent quelques radionucléides et plusieurs molécules. Elles montrent toutes une forte diminution des valeurs de Kd au-delà d'un seuil de concentrations compris entre 10^{-3} et 10^{-4} mol·l^{-1}. Des mesures de D_e au laboratoire et *in situ* sont disponibles pour l'eau tritiée HTO et quelques radionucléides en présence de l'acide éthylène-diamine-tetra-acétique (EDTA), un acide organique courant utilisé en décontamination en raison de son fort pouvoir complexant.

IV.5.7 Choix des paramètres pour les évaluations quantitatives de performances en appui de l'analyse de sûreté

Pour les calculs de performance après resaturation en eau dans le quartier MAVL, l'Andra divise un alvéole MAVL en trois parties :

- une partie dite utile constituée des colis de stockage et de vides ;
- une partie constituée par la paroi en béton perturbée par les matériaux cimentaires seuls ou par des sels ou par des molécules organiques ;
- les matériaux argileux des bouchons de scellement.

La diffusion des radionucléides dans le COx perturbé (perturbations alcaline, saline organique) est ensuite traitée à part.

IV.5.7.1 Alvéoles

La partie utile de l'alvéole est considérée comme un milieu poreux homogène et continu. Pour le SEN-Ref, le milieu est considéré comme réducteur (sauf oxydation par les nitrates) avec un taux de vide de 20 %, et les radionucléides sont considérés comme non retenus (Kd = 0). Le coefficient de diffusion effectif est : $De = \phi_{acc} \times D_{0(HTO)}$ avec $\phi_{acc} = \phi_T$ pour tous les radionucléides. Pour le SEN-Env le milieu est considéré comme oxydant avec un taux de vide de 25 %.

IV.5.7.2 COx perturbé

Pour le quartier HA, le COx est perturbé chimiquement par le matériaux cimentaires bas pH de remplissage de l'extrados du chemisage. Pour le quartier MAVL, ce dernier type de perturbation alcaline est beaucoup plus important. Pour certains alvéoles, il faut aussi prendre en compte les perturbations saline et organique.

La perturbation alcaline du COx près des alvéoles est décrite par rapport au COx sain. Les valeurs de D_e sont multipliées par 5 en SEN-Ref. Pour les valeurs de Kd, les facteurs correctifs sont de 0,1 (rétention divisée par dix) et 0 (pas de rétention). La porosité totale est 35 % et la solubilité est considérée comme infinie.

La perturbation saline du COx est prise en compte quand la force ionique est supérieure à 0,1 $mol \cdot l^{-1}$. Pour le SEN-Ref, les valeurs de D_e sont celles des matériaux cimentaires de structure perturbés par les sels et les valeurs de Kd et C_{sat} sont respectivement multipliées par 0,1 et 10.

La perturbation organique du COx est prise en compte si les concentrations en acides organiques de référence sont au-dessus de 10^{-4} à 10^{-3} $mol \cdot l^{-1}$ et uniquement pour les radionucléides formant des complexes (sont exclus iode, chlore, sodium, calcium et assimilés). Pour le SEN-Ref, les valeurs de D_e sont celles des matériaux cimentaires de structure perturbés par les sels et les valeurs de Kd et C_{sat} sont respectivement multipliées par 0,1 et 10.

IV.5.8 Conclusion

La diffusion des radionucléides des colis jusqu'au COx sain se fait dans des matériaux poreux cimentaires et argileux où l'eau de resaturation est toujours hyperalcaline et chargée en sels ou en molécules organiques, les constituants des sels et les molécules se retrouvant eux-mêmes sur les phases solides des milieux. Ces milieux imposent aux radionucléides un comportement très différent d'un alvéole à un autre. Il est souvent très difficile de mesurer les paramètres de diffusion, sauf dans le COx perturbé qui a été très étudiée. Les valeurs choisies pour les paramètres de diffusion sont finalement rapportées à celles que l'on connaît le mieux, celles dans le COx sain. Les facteurs correctifs appliqués relèvent du jugement d'expert. Ils sont largement conservatifs.

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION

Membres de la Commission Nationale d'Évaluation

Michel DUBOIS
Christophe FOURNIER
Philippe GAILLOCHET
Jean-Paul GLATZ
Saida LAAROUCHI-ENGSTRÖM
Virginie MARRY
Jose-Luis MARTINEZ
Jean-Paul MINON
Catherine NOIRIEL
Céline PERLOT-BASCOULES
Christophe POINSSOT
Aude POMMERET

Président honoraire

Jean-Claude DUPLESSY

Conseillers experts de la Commission

Robert GUILLAUMONT
Emmanuel LEDOUX
Maurice LEROY

Secrétaire général & Conseiller scientifique

Frédéric LAUNEAU

Secrétariat administratif

Véronique ADA-FAUCHEUX
Florence LEDOUX

COMMISSION NATIONALE D'ÉVALUATION

Présidente : **Saida LAÂROUCHI-ENGSTRÖM**

Secrétaire général & Conseiller scientifique : **Frédéric LAUNEAU**

Secrétariat administratif : **Véronique ADA-FAUCHEUX et Florence LEDOUX**

www.cne2.fr

244 boulevard Saint-Germain • 75007 Paris • Tél. : 01 44 49 80 93

ISSN : 2257-5758

3.3 Évaluation par l'OPECST

L'évaluation de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques sur la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo est appelée par l'article L. 542-10-1, alinéa 13 du code de l'environnement.

Le rapport de la Commission nationale des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2), visé au 3.2 ci-dessus, et l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR), visée au 3.1 ci-dessus, ont été présentés le 4 décembre 2025 à l'Office parlementaire. Deux rapporteurs ont été nommés et il est prévu que le rapport final relatif à l'évaluation de la demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo soit présenté à la représentation nationale au premier semestre 2026.

4

Les autres avis et décisions émis

4.1 Décision de la Commission nationale du débat public (CNDP) 418

4.2 Consultation du Comité local d'information et de suivi (CLIS) du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne 423

4.3 Liste non exhaustive des principaux avis non requis au titre de l'enquête publique de la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base Cigéo 436

4.4 Courrier du ministère de l'Écologie du 09 mars 2010 validant le choix de la ZIRA 440

4.1 Décision de la Commission nationale du débat public (CNDP)

Lorsqu'un projet a fait l'objet d'un débat public, l'article L. 121-12 du code de l'environnement fixe un délai de huit ans entre la publication du bilan de ce débat et l'ouverture de l'enquête publique du projet. Au-delà de ce délai, la commission nationale peut décider de relancer la concertation avec le public si les circonstances de fait ou de droit justifiant le projet, ont subi des modifications substantielles. Dans le cas de l'INB Cigéo, ce délai est porté à 10 ans par l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement.

Le 5 novembre 2025, la Commission nationale du débat public a décidé qu'il n'y a pas lieu de relancer la participation du public au sens de l'article L. 121-12 précité (décision n° 2025/148/CIGéO/15 du 5 novembre 2025 ci-après).

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Commission nationale du
débat public

Décision n° 2025 / 148 / CIGéO / 15 / du 5 novembre 2025 relative au projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse et Haute-Marne

NOR : *CNPX25*

La Commission nationale du débat public,

Vu le code de l'environnement, notamment ses articles L. 121-12 et L. 542-10-1 ;

Vu le décret n° 2022-992 du 7 juillet 2022 inscrivant le centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (Cigéo) parmi les opérations d'intérêt national mentionnées à l'article R. 102-3 du code de l'urbanisme ;

Vu le décret n° 2022-993 du 7 juillet 2022 déclarant d'utilité publique le centre de stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue Cigéo et portant mise en compatibilité du schéma de cohérence territoriale du Pays Barrois (Meuse), du plan local d'urbanisme intercommunal de la Haute-Saulx (Meuse) et du plan local d'urbanisme de Gondrecourt-le-Château (Meuse) ;

Vu les arrêts du Conseil d'État du 24 mai 2006, n° 285213 ; du 24 janvier 2007, n° 286666 et du 24 janvier 2007, n° 287248 ;

Vu la décision du Conseil constitutionnel n° 2023-1066 QPC du 27 octobre 2023, association Meuse nature environnement et autres ;

Vu l'arrêt du Conseil d'État du 1er décembre 2023, n° 467331 et n° 467370, association Meuse nature environnement et autres ;

Vu la décision n° 2012/58/CIGéO/1 du 7 novembre 2012 relative au projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse - Haute-Marne (projet CIGEO) ;

Vu le bilan du débat public relatif au projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse - Haute-Marne (projet CIGEO) publié par le président de la Commission nationale du débat public le 12 février 2014 ;

Vu la décision n° 2017/73/CIGéO/7 du 8 novembre 2017 relative au projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse - Haute-Marne (projet CIGEO) ;

Vu la décision n° 2018/50/CIGéO/8 du 6 juin 2018 relative au projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse - Haute-Marne (projet CIGEO) ;

Vu le rapport d'étape du 25 novembre 2019 des garants chargés de la bonne information et de la participation du public jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique, couvrant la période courant de novembre 2017 à novembre 2019 ;

Vu la décision n° 2019/172/CIGEO/10 du 4 décembre 2019 relative au projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne (projet CIGEO) ;

Vu le rapport d'étape du 15 mai 2020 des garants chargés de la bonne information et de la participation du public jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique, couvrant la période courant de novembre 2017 à mai 2020 ;

Vu le rapport d'activité de mars 2021 des garants chargés de la bonne information et de la participation du public jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique, couvrant la période courant de mai 2020 à mars 2021 ;

Vu la décision n° 2022/5/CIGéO/12 du 12 janvier 2022 relative au projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne ;

Vu le rapport intermédiaire de la concertation continue du 23 mai 2022 des garants chargés de la bonne information et de la participation du public jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique de demande d'autorisation de création du projet CIGéO, couvrant la période du 28 janvier 2021 au 14 mars 2022 ;

Vu la décision n° 2022/88/CIGéO/13 du 6 juillet 2022 relative au projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne ;

Vu la pièce 14 du dossier de l'ANDRA, déposé le 16 janvier 2023, de demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) CIGÉO intitulée : « Bilan de la participation du public à l'élaboration du projet de centre de stockage Cigéo », ensemble ses annexes, parties 1 à 5 ;

Vu le rapport intermédiaire de la concertation continue du 17 juillet 2023 des garants chargés de la bonne information et de la participation du public jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique de demande d'autorisation de création du projet CIGéO, couvrant la période de mars 2022 à juin 2023 ;

Vu l'avis n° 2024 / 63 / CIGéO / 14 du 3 avril 2024 relatif au projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse / Haute-Marne ;

Vu le rapport intermédiaire de la concertation continue du 5 juillet 2024 des garants chargés de la bonne information et de la participation du public jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique de demande d'autorisation de création du projet CIGéO, couvrant la période de juillet 2023 à juin 2024 ;

Vu le rapport du 25 avril 2025 de « synthèse des questionnements du public 2013-2022 » ;

Vu le rapport intermédiaire de la concertation continue du 8 juillet 2025 des garants chargés de la bonne information et de la participation du public jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique de demande d'autorisation de création du projet CIGéO, couvrant la période de juillet 2024 à juin 2025 ;

Vu le courrier du 22 octobre 2025, son annexe et le dossier joint, de la directrice générale de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (ANDRA), maître d'ouvrage du projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse et Haute-Marne, saissant, sur le fondement des articles L. 121-12 et L. 542-10-1 du code de l'environnement, la Commission nationale du débat public (CNDP) de la question de savoir si l'ouverture de l'enquête publique préalable à la décision d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) CIGéO doit être précédée de la relance de la participation du public au sens des dispositions de l'article L. 121-12,

Considérant :

- que l'instruction de la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) CIGéO, présentée le 16 janvier 2023 au ministre chargé de la sûreté nucléaire et à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN devenue ASNR), doit se clôturer par l'enquête publique prévue par l'article L. 593-8 du code de l'environnement auquel renvoie le quatorzième alinéa de l'article L. 542-10-1 du même code ; que l'ANDRA indique que cette enquête publique est actuellement prévue à l'automne 2026 ;
- qu'il résulte des dispositions combinées de l'article L. 121-12 et du onzième alinéa de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement que l'ouverture de l'enquête publique préalable à la décision d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) CIGéO ne peut être décidée qu'au plus tard dans le délai de dix ans qui suit la date de publication du bilan du débat public relatif à ce projet ; qu'au-delà de ce délai, la CNDP ne peut décider de relancer la participation du public que si les circonstances de fait ou de droit justifiant le projet ont subi des modifications substantielles ; que la publication du bilan du débat public relatif à ce projet est intervenue le 12 février 2014 ; que le délai de dix ans mentionné à l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement étant expiré, il appartient à la CNDP, saisie à cet effet par l'ANDRA maître d'ouvrage le 22 octobre 2025, de décider de la nécessité ou non de relancer la participation du public préalablement à l'ouverture de l'enquête publique relative à la décision d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) CIGéO :
- qu'il résulte des dispositions de l'article L. 121-12 du code de l'environnement et de la jurisprudence de la juridiction administrative énoncée sur leur fondement que, lorsqu'elle a à les mettre en œuvre, la CNDP doit établir si les circonstances justifiant le projet ont subi des modifications substantielles ;

- que, saisie en 2012 du projet de projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse - Haute-Marne (projet CIGEO), la Commission nationale du débat public a décidé qu'il y avait lieu d'organiser un débat public et d'en confier l'animation à une commission particulière ;
- que les circonstances justifiant le projet présentées par l'ANDRA, maître d'ouvrage, à l'occasion de la saisine de la Commission nationale du débat public en 2012, qui découlaient des dispositions de la loi n° 2006-739 du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs étaient : i) de mettre en sécurité de manière définitive les déchets radioactifs français de haute activité et de moyenne activité à vie longue produits par la filière électronucléaire française dans le respect de la protection de la santé des personnes, de la sécurité et de l'environnement ; ii) de concevoir un centre de stockage de ces déchets en couche géologique profonde ayant fait l'objet d'études et de recherches au moyen d'un laboratoire souterrain ; iii) de déployer un outil industriel permettant de mettre en œuvre le principe de réversibilité et d'adapter le projet aux évolutions de la politique énergétique et à leurs conséquences en matière d'inventaire de déchets à prendre en compte ;
- que ces circonstances de fait et de droit justifiant le projet dès l'origine n'ont pas subi de modifications substantielles ; notamment que l'objectif de mise en sécurité de manière définitive des déchets radioactifs, les déchets concernés (dont l'inventaire est passé de 80 000 m3 à 83 000 m3), le stockage en couche géologique profonde, le principe de réversibilité et sa démonstration (ainsi que celle de sa sûreté) par le recours à une phase industrielle pilote sont des invariants du projet et ont été confortés par les évolutions législatives ultérieures, notamment en ce qui concerne la réversibilité et la phase industrielle pilote qui sera l'unique objet de l'autorisation de mise en service ;
- que le projet a, postérieurement à l'achèvement du débat public, fait l'objet d'une procédure de bonne information et de participation du public préalable à l'enquête publique, dite « concertation continue », qui s'est déroulée en deux phases ;
- que la première phase de la concertation continue, ouverte par la décision de la CNDP du 8 novembre 2017 susvisée, s'est déroulée jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique préalable à l'inscription du projet parmi les opérations d'intérêt national et à sa déclaration d'utilité publique, par les décrets du 7 juillet 2022 susvisés ; que, préalablement à l'ouverture de cette enquête publique, la CNDP, saisie sur le fondement de l'article L. 121-12 du code de l'environnement dans sa rédaction alors en vigueur, avait décidé qu'il n'y avait pas lieu de relancer la participation du public mais de poursuivre la concertation continue, par sa décision du 4 décembre 2019 susvisée ; que cette poursuite s'est traduite par la remise des rapports des garants de la concertation continue susvisés des 25 novembre 2019, 15 mai 2020 et mars 2021 ;
- que la seconde phase de la concertation continue s'est ouverte par la décision du 12 janvier 2022 susvisée par laquelle la CNDP a décidé de la poursuite de celle-ci jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique de demande d'autorisation de création du projet CIGéO ; que cette seconde phase de la concertation continue a été conduite de manière ininterrompue ainsi qu'en attestent notamment la désignation de nouveaux garants par décision du 6 juillet 2022 susvisée, la remise des rapports intermédiaires de la concertation continue du 23 mai 2022, du 17 juillet 2023, du 5 juillet 2024 et du 8 juillet 2025 susvisés, l'émission de l'avis du 3 avril 2024 susvisé ou encore la remise du rapport de synthèse des questionnements du public du 25 avril 2025 susvisé ;

Après en avoir délibéré,

Décide :

Article 1

Il n'y a pas lieu de relancer la participation du public au sens de l'article L. 121-12 susvisé sur le projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse et Haute-Marne.

Article 2

La Commission nationale du débat public recommande à l'ANDRA, maître d'ouvrage, de poursuivre la procédure de bonne information et de participation du public, dite « concertation continue », en cours sur le projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse et Haute-Marne, tant au niveau national qu'au niveau local, jusqu'à l'ouverture de l'enquête publique préalable à la décision d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) CIGéO.

Article 3

La présente décision sera publiée au *Journal officiel* de la République française.

Fait le 5 novembre 2025.

Le Président

Signature numérique de
PAPINUTTI Marc
Date : 2025.11.06 11:56:51
+01'00'

Le président
M. Papinutti

4.2 Consultation du Comité local d'information et de suivi (CLIS) du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne

Créé le 15 novembre 1999, auprès du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne, le Comité local d'information et de suivi est chargé « *d'une mission générale de suivi, d'information et de concertation en matière de recherche sur la gestion des déchets radioactifs et, en particulier, sur le stockage de ces déchets en couche géologique profonde* » (article L. 542-13 du code de l'environnement).

À ce titre, le Clis a été invité à se prononcer sur le dossier de demande d'autorisation de création de l'INB Cigéo en même temps que les collectivités territoriales visées au chapitre 2.3 du présent document. N'ayant pas atteint le *quorum* à l'occasion de l'assemblée générale du 2 décembre 2025, le Clis n'a pas adopté de délibération dans le délai imparti. Le courrier du président du Clis ci-après fait néanmoins état de remarques de membres du Comité exprimées à l'occasion de l'assemblée générale.

Clis
Comité Local d'Information et de Suivi
du Laboratoire de Bure

Bure, le 5 décembre 2025

Monsieur le Préfet,

J'ai bien reçu votre courrier par lequel vous m'indiquez ne pas donner suite à la demande de report de la date de remise d'avis sur la Demande d'Autorisation de Création d'un stockage géologique déposée par l'ANDRA. Je le regrette, non pas pour le CLIS qui, comme vous le soulignez, a participé activement à l'instruction de ce dossier et à la consultation menée par l'ASNR sur son projet d'avis, mais bien pour les collectivités territoriales consultées.

Le fait qu'une enquête publique soit prévue ultérieurement ne justifie pas une telle précipitation. Il me semble qu'une observation portée dans un registre d'enquête publique n'a pas le même poids qu'une délibération adoptée en vertu d'une consultation expressément prévue dans le cadre de la procédure d'instruction.

J'ajoute que, même si cela n'a pas de conséquence en l'espèce, le délai de deux mois fixé pour l'adoption d'une délibération court à compter de la date de réception de votre lettre de saisine, soit jusqu'au 8 décembre (et non le 5) en ce qui concerne le CLIS.

Quoi qu'il en soit, je vous transmets en pièce jointe la contribution du Comité relative au dossier de DAC, adoptée lors de la réunion du conseil d'administration du 24 novembre et présentée en assemblée générale le 02 décembre.

.../...

18 Avenue Gambetta – 55000 BAR LE DUC – Tél : 03 29 75 92 36/ 06 07 85 28 73 - E-mail : bj@clis-bure.fr

Le Lavoir. Rue des Ormes 55290 BURE - Tél : 03 29 75 98 54 - E-mail : sj@clis-bure.fr

www.clis-bure.fr

SIRET : 508377439000 15 – APE : 7120B

CLIS
Comité Local d'Information et de Suivi
du Laboratoire de Bure

PRÉFECTURE DE LA MEUSE
ARRIVÉ LE
09 DEC. 2025
COURRIER RÉSERVÉ

→ Cigéo 5

PRÉFECTURE DE LA MEUSE
Arrivée le
09 DEC. 2025
BUREAU DU COURRIER

.../...

Comme vous pouvez le constater, le CLIS n'est pas en mesure de rendre un avis unique, favorable ou défavorable. Notre contribution comporte donc les deux points de vue exprimés par les membres du Comité sur la poursuite, ou non, de la procédure d'instruction de la DAC.

Je reste à votre disposition pour vous apporter toute précision qui vous paraitrait utile.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Préfet, l'assurance de ma considération distinguée.

PRÉFECTURE DE LA MEUSE

DOCUMENT À DIFFUSER	POUR DISTRIBUTION	POUR INFORMATION
PREFET		✓
SG		✓
CABINET		
S/P VERDUN		
S/P COMMERCY		
DIDPAT		
DDT		
SIDD		
DREE	✓	
DDT		
DDETSPP		
SIT ARS		
AUTRES		

Le Président du CLIS,

Jean-Louis CANOVA

Monsieur Xavier DELARUE
Préfet de la Meuse
Préfecture de la Meuse
40 rue du Bourg
55012 BAR LE DUC Cedex

18 Avenue Gambetta – 55000 BAR LE DUC – Tél : 03 29 75 92 36/ 06 07 85 28 73 - E-mail : bj@clis-bure.fr
Le Lavoir. Rue des Ormes 55290 BURE - Tél : 03 29 75 98 54 - E-mail : sj@clis-bure.fr
www.clis-bure.fr
SIRET : 508377439000 15 – APE : 7120B

AVIS SUR LE DOSSIER DE DAC (CIGEO) – 05/12/2025

Participation à la contribution du Clis de Bure

Le Clis de Bure est composé de divers représentants de la société civile et d'élus. L'expression de la pluralité des opinions d'avis sur la DAC en est issue.
Des membres du CLIS tiennent à apporter les remarques suivantes, s'appuyant principalement sur l'analyse de l'avis rendu par l'ASNR.

I. Un décalage important dans l'avis de l'ASNR qui minore des incertitudes fortes, décrites notamment dans les trois rapports d'expertises de l'ex-IRSN

De manière transversale et générale, l'ASNR estime que le socle de connaissances est "suffisant au stade de la DAC". Page 4 de l'avis, l'ASNR écrit : *« L'Andra a acquis un socle de connaissances suffisant relatif à la formation hôte constituée par la couche argileuse du Callovo-Oxfordien (COx) et aux matériaux ouvragés, pour démontrer au stade de la demande d'autorisation de création, la sûreté de l'installation Cigéo durant son exploitation et après sa fermeture définitive. »*

Cette affirmation est contradictoire :
- D'une part avec la liste des aspects du dossier devant être complétés ou développés (page 7) :

"*Ceux-ci concernent :*
o la présentation du programme de travaux à mener en phase industrielle pilote inactive (sans stockage de déchets radioactifs) et active (stockage de déchets radioactifs), fondé sur la justification des objectifs et critères de réussite ;
o des compléments à apporter pour justifier la classification des scénarios incidentels et accidentels ;
o des compléments relatifs à l'évaluation de la maîtrise du risque incendie ;
o des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis du stockage en l'état des déchets bitumés ;
o des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque d'explosion au cours des opérations de fermeture et après fermeture des alvéoles MA VL ;
o des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque d'explosion dans les alvéoles HA en phase d'exploitation ;
o une évaluation du scénario What-if3 « discontinuité traversante », en tenant compte d'une discontinuité au sein du quartier de stockage HA et de l'ensemble des radionucléides mobiles et peu mobiles d'intérêt, dont les éléments transuraniens et leur filiation ;
o la présentation d'une situation d'abandon du stockage pendant son fonctionnement. »

- D'autre part avec l'ensemble de l'annexe de l'avis de l'ASNR qui détaille les points pour lesquels il n'y a pas suffisamment de connaissances permettant de démontrer la faisabilité et la sûreté du projet Cigéo.

Globalement, nous estimons que cet avis ne reflète pas les réserves soulevées par l'ex-IRSN dans les trois rapports qui ont précédé celui-ci.
En effet, le dialogue technique a fait état de l'absence de démonstration de sûreté pour de nombreux sujets. Le choix du mot "suffisant", très largement employé, est ambigu. Il ne reflète ni l'ampleur des connaissances déterminantes qui seront obtenues ou non plus tard, ni la part laissée aux études à venir qui viendront attester ou non de la faisabilité et de la sûreté de Cigéo durant son exploitation et en post-fermeture.

L'ASNR doit avoir une approche sémantique impartiale.

Dans l'esprit du public, un socle de connaissances annoncé "suffisant" est incompatible avec l'absence constatée de démonstration de faisabilité et de sûreté sur des aspects décisifs.

A titre d'exemples et sans que cela soit exhaustif :

1) Le socle de connaissances est largement insuffisant en ce qui concerne les scellements.

Le public ne peut pas comprendre que le socle de connaissances soit qualifié de "suffisant" alors qu'il n'est pas du tout garanti que l'Andra parvienne à démontrer la fiabilité des scellements.

Dans l'annexe de son avis (page 10) l'ASNR écrit que "*Les résultats des programmes de recherche associés à la mise en place de démonstrateurs de scellements de descenderie et de galerie devront être intégrés au bilan de la phase industrielle pilote, afin de consolider le concept de référence complet de chaque type de scellement, associé aux puits, descenderies et galeries.*".
Pourtant, le rapport ASNR n° 2025-00263 (pages 95/96) indique que « *PSE-ENV rappelle [2] que les concepts de scellement (...) présentés dans le DDAC sont encore à un stade de principes de conception et leur performance ne sera pas connue même à l'issue de la phase-pilote* ».

Le décalage est inexplicable. Comment l'ASNR peut-elle estimer que le socle de connaissances est suffisant au stade de la DAC alors que de l'aveu même de l'ex-IRSN le niveau de performances des scellements ne sera même pas connu à l'issue de la phase-pilote.
L'avis de l'ASNR doit faire apparaître clairement que la démonstration de sûreté au niveau des scellements est absente. Actuellement qualifiée d'incomplète ou insuffisante, il n'est pas attesté que celle-ci soit obtenue ultérieurement.

2) Le socle de connaissances est loin d'être suffisant concernant le matériau de remplissage annulaire (MREA) des alvéoles HA

Dans son avis (page 10), l'ASNR indique que "*La première formulation du matériau cimentaire destiné à remplir l'espace annulaire entre la roche et le chemisage des alvéoles « haute activité » présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création induisant des vitesses de corrosion significatives, l'Andra développe un programme visant à l'élaboration d'autres formulations, mais dont l'avancement reste à ce stade encore limité. Les données disponibles pour justifier le dimensionnement des composants métalliques de l'alvéole HA restent ainsi marquées par des incertitudes importantes, ce qui constitue un point d'attention pour statuer sur la pertinence de leur dimensionnement tel que retenu à ce stade.*"

Le rapport d'expertise n°2025-00263 va même plus loin *: « PSE-ENV estime qu'à ce stade, les données disponibles pour justifier le dimensionnement des composants métalliques de l'alvéole HA restent marquées par des* ***incertitudes significatives****, ce qui constitue un point d'attention pour statuer sur la pertinence du concept d'alvéole HA retenu dans le DDAC »* (page 27) ; *« PSE-ENV rappelle en préambule que la première formulation du MREA prévu dans l'espace annulaire entre la roche et le chemisage d'un alvéole HA, présentée par l'Andra dans le DDAC, conduit à des phénomènes de corrosion localisée, qui ne permettent pas de garantir l'étanchéité du chemisage sur le long terme et donc la réalisation de la fonction de sûreté qui lui est attribuée »* (page 76).

Comment comprendre le choix du qualificatif de "suffisant" alors qu'il existe des incertitudes aussi fortes sur les composants de base du stockage, qu'il s'agisse des scellements ou du MRAE des alvéoles HA ?

3) Le socle de connaissances ne peut pas être qualifié de suffisant alors qu'il n'est pas possible au stade de la DAC de garantir l'absence de failles au niveau du quartier de stockage HA.

Dans son avis (page 9) l'ASNR estime que « *des structures profondes identifiées par méthode géophysique en 2010 dans le nord de la zone d'implantation de l'installation nécessitent la mise en œuvre d'un programme de reconnaissance de la formation hôte au droit de ces structures afin d'adapter, si besoin, la conception de l'installation souterraine* ».

Une fois encore, l'expertise de l'ex-IRSN va plus loin. Le rapport IRSN n° 2024-00212 précise qu'il pourrait être nécessaire « *d'adapter l'architecture de l'installation souterraine de stockage* » (page 79) et que « *aucune des deux campagnes de reconnaissance prévues avant la demande de mise en service lors de la phase pilote ne permettra de lever le doute sur le caractère sain du COX à l'aplomb de ces structures, situées au niveau du quartier de stockage HA. (...) L'IRSN estime que la mise en œuvre d'au moins une des deux campagnes de reconnaissance prévues au cours de la phase de construction initiale (campagne ZBS [120]) ou reconnaissance de la zone de stockage prévue au début de la phase pilote (...) pourrait être adaptée afin de répondre à ce besoin* » (page 80).

L'ex-IRSN affirme que les campagnes DR0 ne permettront pas d'étudier les incertitudes concernant la présence de failles à l'aplomb du quartier des HA. Nous nous interrogeons sur le fait qu'il n'y aura pas de campagne de reconnaissance prévue dans le DR0 et demandons à quel moment elle aura lieu.
Rappelons le rapport IRSN n° 2024-00212 qui signalait que l'Andra avait pris l'engagement E8-2017 qui consistait à une reconnaissance directe du Callovo-Oxfordien et à présenter « *dans le dossier de DAC les premiers résultats de la reconnaissance ainsi que le manière dont l'architecture pourra le cas échéant tenir compte de cette zone si la flexuration était à terme avérée* ».

Nous comprenons que cet engagement ne sera pas honoré. Nous demandons que ce programme de reconnaissances soit mené avant l'enquête publique sur la DAC afin que ses résultats soient intégrés au dossier d'enquête publique comme l'Andra s'était engagée dans le faire.

4) Le socle de connaissances ne peut pas être qualifié de "suffisant" alors que l'Andra est en attente des résultats des opérations DR0

Ces opérations doivent justement apporter des compléments de connaissance indispensables à la conception de Cigéo. Les résultats de certaines d'entre elles devraient être connues dans un délai qu'il serait raisonnable d'attendre puisque l'avis IRSN n°2024-00083 indiquait en page 2 que « *L'Andra prévoit que ces premières opérations DR0 soient réalisées sur une durée estimée à 3 ans* ».

Ces résultats portent notamment :
- sur la caractérisation géotechnique au droit de la zone descenderie et de la zone puits
Le rapport IRSN n°2024-00212 (page 67) rappelait la nécessité de mener ces investigations géophysiques afin de "*caractériser d'éventuelles cavités karstiques qui pourraient remettre en cause la tenue structurelle du bâtiment EP2 et de la tête de descenderie « colis » ainsi que, en fonction des enjeux de sûreté, au droit des infrastructures associées aux puits* » ;
=> sur la zone puits, les résultats attendus sont même des « *données d'entrée fondamentales pour la conception des fondations des bâtiments et des ouvrages souterrains en zone puits* » (page 79 du fichier intitulé « *DAE-1 Volet chapeau* » du dossier de l'enquête publique DR0) ; l'expression "données d'entrées fondamentales" laisse à penser qu'elles n'existent pas encore.
=> sur la zone descenderie, il apparaît que ces recherches ne soient pas incluses dans les DR0 ; quand seraient-elles menées ?

- sur la caractérisation et la surveillance de l'environnement du projet global Cigéo *"tant d'un point de vue géologique, géotechnique, hydrogéologique ou patrimonial, afin d'affiner et de confirmer la conception du projet (...) »* (page 34 du fichier intitulé *« DAE-1 Volet chapeau »* du dossier de l'enquête publique DR0).

L'ASNR rappelle à la page 9 de son avis que "*L'Andra s'est engagée à apporter, avant le début des travaux de terrassement prévus en 2028, les résultats des investigations et études complémentaires qui auront été mises en œuvre pour compléter la caractérisation des calcaires du Barrois*."
Il est souhaitable que les connaissances acquises par ces premières opérations soient intégrées au dossier DAC, instruites par l'ASNR, et incluses dans l'enquête publique à venir.

Le calendrier des échéances où les résultats attendus seront connus doit être intégré à l'enquête publique à venir. Cette demande doit figurer expressément dans l'avis de l'ASNR. Il en va de la pertinence de l'information délivrée au public.

5) Le socle de connaissances ne peut pas être qualifié de suffisant alors que des démonstrations de sûreté sont absentes et nécessitent donc plus que des compléments

Nous nous interrogeons sur cette formulation de l'avis de l'ASNR selon laquelle *: « Certains points de la démonstration de sûreté nécessitent des compléments, détaillés dans la suite du présent avis »*
Cette assertion ne reflète pas la réalité des nombreuses insuffisances constatées. Pour certains points, il n'y a pas que des compléments attendus, mais des données d'entrée fondamentales : la démonstration de sûreté n'est donc pas acquise.
Cette réalité doit être explicitée dans le corps de l'avis de l'ASNR afin que le public ne soit pas induit en erreur.

Cette absence de démonstration est évoquée dans l'annexe de l'avis de l'ASNR pour trois sujets :
- « *La conception des scellements, encore à un stade préliminaire, ne permet pas d'apporter la démonstration de leurs performances (...)* » (page 10) ;
- « *Le principe d'exclusion du risque de criticité pour l'inventaire de référence est satisfaisant mais pourra s'avérer délicat à démontrer* » (page 16) ;
- « *La démonstration de la maîtrise du risque d'explosion les alvéoles MA-VL en cours de fermeture et une fois fermés ainsi que dans les alvéoles HA, mentionné ci-avant, devra être acquise en vue de garantir la sûreté des opérations de retrait des colis.* » (page 20).

Nous demandons à ce que cela apparaisse plus clairement dans le corps de l'avis.

Il ressort de la lecture de l'avis de l'ASNR que d'autres démonstrations de sûreté attendent plus que des compléments, elles restent à établir, concernant par exemple :

- La faisabilité technique des alvéoles HA

Dans l'annexe de l'avis ASNR (page 13), il est écrit que : *« La faisabilité technique des dispositions de limitation des échanges gazeux avec la galerie d'accès ou de surveillance et pour l'inertage de l'atmosphère interne n'est pas démontrée pour la conception actuelle en vue de la maîtrise de l'atmosphère interne des alvéoles HA vis-à-vis de la maitrise du risque d'explosion ».*

L'avis IRSN n°2024-0016 (page 5) va plus loin en écrivant que « *des incertitudes fortes demeurent quant à la faisabilité technique de l'alvéole HA tel que conçu à ce stade (...) et au passage à une échelle industrielle (...) ».*
Aussi, le public doit comprendre que la faisabilité technique de l'alvéole HA et sa reproductibilité à l'échelle industrielle n'est pas garantie. Ce n'est pas le cas dans la formulation de l'avis.

- Les risques d'explosion

Dans l'avis ASNR (page 7), il est écrit que sont attendus : *« des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque d'explosion au cours des opérations de fermeture et après fermeture des alvéoles MA-VL ; des compléments à la démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque d'explosion dans les alvéoles HA en phase d'exploitation ; »*

Auparavant (page 4) il est écrit que *: « Les études relatives à l'évolution de l'atmosphère interne d'un alvéole MA-VL non ventilé lors de la phase de fermeture et aux conséquences d'une éventuelle explosion sont à un stade préliminaire.*

(…)

La démonstration de sûreté vis-à-vis de la maîtrise du risque « explosion » lors des opérations de fermeture de l'alvéole MA-VL, induisant un arrêt de la ventilation, et après sa fermeture ainsi que celle de l'alvéole HA en exploitation devra être complétée avant le début des travaux de creusement »

L'ex-IRSN va plus loin. Le rapport IRSN n°2024-00623 indique que :

- *« l'IRSN considère que la démonstration de sûreté des opérations de fermeture d'un alvéole MA-VL, ainsi que celle d'un alvéole fermé, n'est pas acquise vis-à-vis des risques d'explosion »* (page 109) ;
- *« L'IRSN considère donc qu'à ce stade, selon la conception actuelle de l'alvéole HA vis-à-vis des risques d'explosion, l'accessibilité de la démonstration de sûreté n'est pas acquise »* (page 111).

Plus que des compléments attendus, c'est la démonstration de sûreté sur le risque explosion qui n'est pas établie. L'ASNR devrait reprendre la même formulation que l'ex-IRSN, toujours dans le souci de délivrer une information la plus fidèle possible.

- Les risques d'incendie :

L'avis de l'ASNR (page 7) indique que sont attendus « des compléments relatifs à l'évaluation de la maîtrise du risque incendie ».

Le rapport IRSN n°2024-00623 précise (page 97) que *« l'IRSN considère que les éléments présentés par l'Andra dans le DDAC, relatifs notamment à la résistance au feu des conteneurs de stockage, aux modélisations réalisées, ainsi qu'à la détection d'un incendie et à l'intervention, concourent à montrer le caractère accessible de la démonstration de sûreté »*. Cette démonstration est donc possible mais n'est pas encore établie.

Nous alertons sur la compréhension erronée que le public pourrait se faire de cette phrase à la page 5 de l'avis : "*La démonstration de sûreté présentée dans le dossier de demande d'autorisation de création de Cigéo, pour les phases d'exploitation et d'après fermeture, a atteint un niveau de maturité d'ensemble conforme aux attendus pour une demande d'autorisation de création d'un centre de stockage géologique*".

6) Le flou entourant les inventaires des déchets et l'adaptabilité de Cigéo aux évolutions de la politique énergétique n'est pas acceptable

L'ASNR reconnaît (page 11) que "*Les incertitudes subsistant concernant notamment les volumes de colis primaires de déchets dont le conditionnement reste à définir, leurs modes de stockage, la prise en compte des déchets issus du traitement des combustibles usés de type MOX ou issus de réacteurs de recherche et les dates de réception des derniers colis dans l'installation devront être accommodées par le caractère flexible de l'installation.*"

De telles approximations, au stade d'un projet en passe d'obtenir l'autorisation de création, sont incompréhensibles. Le caractère dit "adaptable" de l'installation Cigéo, lié au concept de flexibilité, ouvre des incertitudes quant au devenir du territoire, à court et long terme.

Ce sujet est une préoccupation importante pour la population locale. Comment pourrait-elle émettre un avis sur le projet de stockage si le volume et la nature des colis de déchets ne sont pas arrêtés ?

Le public doit comprendre que dans l'esprit de l'ASNR, un niveau de maturité satisfaisant au stade de la DAC ne signifie pas pour autant que la démonstration de sûreté est acquise. Cette distinction est fondamentale.

Tous ces exemples doivent conduire l'ASNR à reformuler son avis, et en premier lieu à retirer la mention de socle de connaissances "suffisant" au stade de la DAC.

II. L'avis de l'ASNR doit clarifier certaines notions cruciales du projet Cigéo afin que le public ne soit pas induit en erreur lors de l'enquête publique

Dans l'annexe de son avis (page 9), le collège de l'ASNR écrit "*La phase industrielle pilote et le principe de réversibilité sont des spécificités de Cigéo définis par les dispositions de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement susvisé, et sont des sujets transverses qui ont été instruits dans chaque phase d'instruction*".

Le terme de "spécificités" demande à ce que leur définition soit précisée afin qu'elles ne soient pas soumises à l'interprétation (voire aux idées reçues diffusées à ce propos) que le public pourrait s'en faire.

1) Des clarifications quant aux notions de réversibilité / récupérabilité :

L'annexe de l'avis ASNR rappelle cette définition de la réversibilité : "*L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement définit la réversibilité comme « la capacité, pour les générations successives, soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives d'un stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion. La réversibilité est mise en œuvre par la progressivité de la construction, l'adaptabilité de la conception et la flexibilité d'exploitation d'un stockage en couche géologique profonde de déchets radioactifs permettant d'intégrer le progrès technologique et de s'adapter aux évolutions possibles de l'inventaire des déchets consécutives notamment à une évolution de la politique énergétique. Elle inclut la possibilité de récupérer des colis de déchets déjà stockés selon des modalités et pendant une durée cohérente avec la stratégie d'exploitation et de fermeture du stockage.* »
Il est précisé ensuite (page 19) que : "*L'Andra retient deux types de scénarios impliquant la mise en œuvre de retrait de colis : les « retraits d'exploitation », qui font partie de l'exploitation courante de Cigéo, et les « retraits hypothétiques », étudiés au titre de la gestion de situations post-accidentelles ou de la réversibilité. Les dispositions de récupérabilité feront l'objet d'essais au cours de la phase industrielle pilote.* "

Nous estimons que l'information du public sur la définition de la réversibilité est trompeuse. Dans l'esprit de tout un chacun, et telle qu'elle a été présentée à l'origine, la réversibilité comprend une récupérabilité des déchets sur le siècle, durant toute la durée de l'exploitation, voire au-delà.

Or, il ressort du dialogue technique que l'Andra vérifie seulement qu'il serait possible de récupérer les colis, si les générations futures décidaient un jour de récupérer tous ceux déjà stockés, mais qu'elle n'aurait pas à en déterminer les modalités techniques et pratiques ni à financer ces opérations de récupération.

Il ressort également de la présentation de l'expertise de l'ex-IRSN lors de la plénière du dialogue technique du 30 janvier 2025 (powerpoint 6, slide 17) que :
"*La récupérabilité ne pose pas de difficulté majeure tant que les alvéoles ne sont pas fermées.*
La réouverture des alvéoles s'apparente à des travaux de construction initiale (Rappel : la démonstration de la maitrise des risques d'explosion dans une alvéole fermée n'est pas acquise).
Les scénarios de retrait hypothétique intègrent désormais des colis supposés contaminés. La faisabilité de retrait d'un colis HA contaminé n'est pas démontrée. "

Plus l'exploitation de Cigéo avancera dans le temps, moins il sera possible de récupérer les colis car les alvéoles seront fermées au fur et à mesure de leur remplissage. Or il n'apparaît pas dans l'avis de l'ASNR qu'au fil de l'exploitation, la récupérabilité ne serait plus garantie et deviendrait même impossible une fois les alvéoles fermées.

Le rapport IRSN n°2024-00623 (page 182) précise que « *L'Andra ne prévoit donc pas d'entreposage pérenne pour accueillir, parmi les installations de surface de Cigéo, un grand nombre de colis retirés*". Preuve s'il en est que la récupérabilité est illusoire du point de vue même de la conception du projet et des installations dédiées.
Les échanges à ce propos lors de la plénière du 30 janvier 2025 avaient également conduits à préciser les conditions de retrait de colis en cas d'accident. L'ex-IRSN avait précisé que l'Andra ne s'engageait pas à retirer les colis en cas d'accident et que la décision de retrait (ou de laisser les colis au fond) se ferait « *sur la base d'une analyse multi-critères* », « *qu'il faudrait s'attacher à ce que soit faisable et possible* ».

Aussi, il nous apparaît indispensable que l'avis de l'ASNR clarifie les nuances entre réversibilité et récupérabilité afin que le public ne soit pas induit en erreur sur un sujet aussi déterminant pour son avis. Il doit comprendre que la faisabilité technique et financière de la récupérabilité n'est ni garantie, ni démontrée par l'Andra dans le dossier DAC.

2) Des clarifications quant à l'utilité réelle et le sens de la phase-pilote du projet

Dans l'annexe de l'avis ASNR (page 21), il est écrit que "*Les objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote proposés par l'Andra, bien que satisfaisants sur le plan général,* ***restent préliminaires*** *et devront être précisés au regard des besoins de compléments et de consolidation de la démonstration de sûreté présentés dans cet avis. L'Andra devra établir, dès le début des creusements, un programme de travail à mener lors de la phase industrielle pilote (en inactif et en actif), fondé sur la justification des objectifs et critères de réussite discutés dans le cadre du PNGMDR.*"

Nous estimons que les objectifs et critères de réussite discutés dans le cadre du PNGMDR devraient être intégrés au dossier d'enquête publique afin que le public ait connaissance du programme de travail qui sera mené durant la phase-pilote si le projet était autorisé.

En effet, à ce jour la phase-pilote telle qu'imaginée par l'Andra est loin d'être ambitieuse et ne permettrait pas de confirmer (ou non) la faisabilité du projet. En ce sens, nous renvoyons à cet égard à la note de lecture critique réalisée par la Criirad et Global Chance du rapport de l'Andra sur "*Les objectifs et critères de réussite de la phase industrielle pilote proposés par l'Andra*". Cette note de lecture fait état "*d'un manque de définition préalable de ce qui devrait être fait durant la phase-pilote*" et d'un "*manque de préparation et de cadrage qui ne pourra que nuire à son déroulement, envisagé comme des expérimentations grandeur nature*", ce qui conduit la Criirad et Global Chance à affirmer que "*telle que proposée, la Phipil ne saura répondre aux objectifs fixés par le 5ème PNGMDR.*" Les objectifs et critères de réussite de la phase-pilote n'étant pas définis à ce stade, n'étant que d'ordre généraux d'après l'avis de l'ASNR, nous ne pouvons que reprendre à notre compte les éléments développés par la Criirad et Global Chance à ce propos.

A la page 21, l'ASNR écrit que "*Les arrêts et redémarrages d'une installation nucléaire étant des phases sensibles en termes de sûreté et de maintien des compétences, la continuité de l'exploitation entre la fin de la phase industrielle pilote et la mise en service complète de l'installation représente un enjeu de sûreté dans l'exploitation de l'installation.*"

Nous regrettons que l'ASNR reprenne la velléité de l'Andra qu'il n'y ait pas d'interruption de l'exploitation à l'issue de la phase-pilote. Là aussi il en va d'une clarification pour le public à qui la phase-pilote serait présentée à tort comme une phase test du projet alors qu'il s'agirait dans ce cas du début de l'exploitation industrielle du site.

Comme lors du dialogue technique, nous demandons :
- qu'il n'y ait pas de continuité entre la fin de la phase industrielle pilote et la mise en service complète de l'exploitation
- qu'il y ait une interruption totale de chargement des colis de déchets pendant la phase de bilan de la Phipil. Ce dernier devant servir de base au débat parlementaire préalablement à la loi sur les conditions de poursuite du stockage.

Nous estimons que l'articulation entre l'exécution de la phase industrielle pilote, l'analyse des données, la consultation du parlement et ensuite la poursuite ou non du stockage n'est pas clarifiée.

Si cette demande n'était pas entendue par l'ASNR, nous demandons que la phase-pilote ne soit plus présentée comme une phase-test mais bien comme le début de l'exploitation de Cigéo dans son avis. Le sens du décret d'autorisation prenant une tournure tout à fait différente selon ces deux scénarios.

III. La prise en compte par l'ASNR des expertises indépendantes menées par le CLIS et par des tiers sur le dossier DAC doit être effective

Le Clis de Bure a engagé deux expertises sur certains points de la DAC, l'une auprès de l'institut américain IEER et le second auprès de Niemeyer Umwelt. Les résultats de la première sont en cours. La seconde a été rendue début décembre 2025. Nous demandons leur prise en compte dans l'avis définitif de l'ASNR.

Le rapport préliminaire Niemeyer Umwelt, relatif à l'étude des scénarios de sûreté post-fermeture, intitulé "*Analyse des scénarios de l'ANDRA, intrusion humaine volontaire*" demande des éclaircissements non négligeables ou déterminants à l'ANDRA à d'importants questionnements. "*Dans l'ensemble, on peut donc affirmer que l'ANDRA a retenu les scénarios appropriés pour l'évaluation de l'intrusion involontaire dans le dépôt. Cependant l'approche de la conceptualisation des processus pertinents est parfois incompréhensible et dans certains cas, elle n'est pas conservative.*"
Rappelons que des forages (aux impacts radiologiques inévitables) sont envisageables au futur, en raison de la présence de deux ressources géothermiques (au Dogger et au Trias) à l'aplomb du site de stockage. Ce cas de figure était pourtant totalement exclu initialement, dans la Règle fondamentale de sûreté de l'ASN. Le risque d'intrusion est réel et met à mal le concept de "coffre-fort" recherché. Le rapport Niemeyer s'interroge sur la plausibilité de certains résultats de l'ANDRA, et d'un manque de compréhension, notamment quant aux "différences de potentiels hydrauliques".

Par ailleurs, nous signalons que si l'ASNR souligne la qualité technique du dossier de l'Andra en pages 4 et 5 de son avis, une expertise réalisée par la Crirrad (auditionnée par le CLIS) sur le volet radiologie de l'étude d'impact du projet Cigéo révèle de nombreuse inexactitudes ou lacunes :

https://www.criirad.org/wp-content/uploads/2024/09/2024-09-12_Analyse-critique-CRIIRAD_Etude-impact-Cigeo.pdfCette

Les contre-expertises sur certains aspects du dossier, réalisées par Global Chance, demandent une réelle prise en compte, ainsi :

- les dessous du bâtiment EP1 :
https://global-chance.org/La-demande-d-autorisation-de-creation-de-CIGEO-l-installation-nucleaire-de-surface
- la phase-pilote :
https://global-chance.org/LA-DEMANDE-D-AUTORISATION-DE-CREATION-DE-CIGEO-LA-PHASE-INDUSTRIELLE-PILOTE
- la réversibilité :
https://global-chance.org/CIGEO-REVERSIBILITE-ET-RECUPERABILITE-Dans-la-demande-d-autorisation-de-creation-DAC
- la descenderie :
https://global-chance.org/L-ETRANGE-DESCENDERIE-DE-CIGEO

M. Bernard Laponche de Global Chance a posé de nombreuses questions qui n'ont jamais obtenu de réponse de la part de l'ASNR, notamment lors du dialogue technique.

Global Chance et la Criirad ont diffusé à l'été 2025 une lecture critique du volet technique du rapport de l'Andra "*Objectifs et critères de la réussite de la phase industrielle pilote du projet*" et certains constats sont édifiants sur l'absence de programme de recherche durant la phase-pilote (https://global-chance.org/Lecture-critique-du-volet-technique-du-rapport-de-l-Andra-Objectifs-et-criteres-de-la-reussite-de-la-phase-industrielle-pilote-du-projet-Cigeo) . Pourtant, l'ASNR s'appuie en partie sur cette étape pour lever des interrogations majeures.

IV. Le dossier de la DAC est incomplet et insuffisant pour l'enquête publique. Les termes délibérément choisis par l'ASNR pour qualifier le dossier de DAC doivent être clarifiés, afin que le public ait une juste perception de l'état des connaissances sur le projet et que son avis puisse se faire en connaissance de cause.

Page 6 de son avis, l'ASNR considère que le dossier peut passer en phase d'enquête publique, ce qui est contradictoire au vu de tout ce qui précède.

Le Clis, à l'instar d'autres organismes et des collectivités locales, est invité à rendre son avis sur le dossier de demande d'autorisation de création d'ici le 6 décembre**. Cette consultation a démarré sans même attendre l'avis définitif de l'ASNR**, ce qui n'est pas acceptable.
Nous considérons qu'il n'est pas sérieux d'attendre des échéances ultérieures lointaines pour lever des doutes sérieux sur la faisabilité et la sûreté. L'aspect "itératif" du projet n'est ni compréhensible, ni justifiable au regard de l'ampleur des risques et de la durée du projet Cigéo.

En tant que membres du Clis, qui a pour mission l'information de la population et joue un rôle d'interlocuteur de la société civile, nous rappelons à l'ASNR que la perception du dossier par le public est en partie déterminée par celle de l'ASNR. L'avis se doit donc d'être extrêmement précis et étayé. Si l'ASNR assume le caractère progressif et itératif du projet**, elle doit revoir sa manière de le présenter dans son avis et ne pas utiliser des formules qui portent à confusion dans l'esprit du public.** L'autorisation de création est corrélée à un projet technique abouti (précis, chiffré) et pour lequel les principaux enjeux de faisabilité et sûreté sont démontrés. A la lecture de l'avis de l'ASNR, ce n'est pas le cas.

L'ASNR ne décide pas des dates de l'enquête publique, mais elle pourrait dans son avis reconnaître que des éléments probants sur la faisabilité et la sûreté manquent et doivent être intégrés au dossier avant enquête publique. Notamment reconnaitre les incohérences du calendrier et les demandes légitimes d'approfondissement formulées lors du dialogue technique par la société civile. L'ASNR pourrait demander un délai supplémentaire pour intégrer certains résultats attendus parce qu'incontournables pour démontrer la faisabilité du stockage profond et la sûreté de ses hypothèses techniques. Elle montrerait ainsi l'intérêt qu'elle porte à l'enquête publique, qu'elle a qualifiée lors de la présentation de son avis "d'action phare" et le souci d'encadrer au mieux ce prototype hors norme.

Pour que le dossier présenté en enquête publique soit complet, nous estimons qu'il doit :

- Intégrer les engagements pris par l'Andra pour sa mise à jour avant l'enquête publique et que leurs résultats soient analysés par l'ASNR,

- Contenir une version préliminaire du rapport du sûreté de l'installation, mise à jour selon les engagements pris par l'Andra pour compléter ce document. Rappelons que dans le rapport de l'ex IRSN 2024-00623 GP2 (page 14), il était question d'une actualisation de la version préliminaire du rapport de sûreté pour l'enquête publique de la DAC. Or, il est prévu à ce stade que la prochaine actualisation n'aurait lieu que dans la décennie, donc bien après l'enquête publique,

- Être complété avec les résultats des opérations DR0 et le calendrier précis des résultats attendus aux différentes échéances,

- Être complété avec les résultats de toutes les études demandées par l'ASNR et/ou faisant l'objet d'un engagement de l'Andra et qui peuvent être menées sans avoir à construire les principales installations,

- Clarifier le statut des demandes et recommandations qui n'ont pas fait l'objet d'engagements de la part de l'Andra et les réponses de l'Andra attendues.

Nous demandons que l'ASNR réalise dans tous les cas une grande clarification dans les termes utilisés afin que le public ait accès à une information transparente sur l'état actuel des connaissances concernant le projet Cigéo et que l'enquête publique à venir se fasse au moins à partir d'informations fidèles à l'expertise de PSE-ENV et d'une appréciation objective du dossier, ni interprétée, ni trop optimiste.

4.3 Liste non exhaustive des principaux avis non requis au titre de l'enquête publique de la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base Cigéo

Les liens vers les sites Internet sont fournis à titre indicatif pour faciliter la lecture. En cas de problème d'ouverture, la référence exacte est fournie dans la rubrique « Références bibliographiques ».

- avis sur la faisabilité du stockage géologique profond et sur l'esquisse projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde :
  - ✓ revue internationale par les pairs (OCDE - NEA) sur le programme de recherche et développement sur le stockage de déchets radioactifs en formation géologique profonde, « Dossier 2001 argile », 2003 (8) :

    https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2003/nea4432-andraeng.pdf ;
  - ✓ avis de l'IRSN de 2005 sur le « Dossier Argile » (9) :

    https://www.irsn.fr/fr/expertise/rapports_expertise/surete/pages/avis-irsn-dossier-2005-argile.aspx ;
  - ✓ revue internationale par les pairs (OCDE - NEA) sur la sûreté du stockage géologique de déchets radioactifs HA-VL en France, « Dossier 2005 argile », 2006 (10) :

    https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2006/nea6179-havl.pdf ;
  - ✓ avis de l'ASN du 1er février 2006 sur les recherches relatives à la gestion des déchets de haute activité à vie longue menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991 (11) :

    https://www.cigeo.gouv.fr/sites/default/files/2018-08/AVIS-ASN-dechets-2006-02-01.pdf ;
  - ✓ rapport global d'évaluation de la CNE sur les recherches conduites dans le cadre de la loi du 30 décembre 1999, 2006 (12) :

    https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/064000240.pdf ;
  - ✓ avis de l'IRSN des 29-30 novembre 2010 sur le « Dossier 2009 - Projet HA-MA-VL » (13) :

    https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/Documents/Dechets/IRSN-Rapport-GP_HA-MAVL-Dossier-2009_2010-00002.pdf ;
  - ✓ avis de l'ASN du 26 juillet 2011 (n° 2011-AV-129) sur le dossier intermédiaire d'esquisse (14) :

    http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2011-AV-129-de-l-ASN-du-26-juillet-2011 ;
  - ✓ avis de l'ASN du 16 mai 2013 (n° 2013-AV-0179) sur les documents produits par l'Andra depuis 2009 relatifs au projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde (15) :

    http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2013-AV-0179-de-l-ASN-du-16-mai-2013 ;
  - ✓ avis de la CNE de mars 2013 sur l'esquisse Cigéo (16) :

    https://www.cne2.fr/telechargements/avis/Avis_Esquisse_cigeo.pdf ;
  - ✓ avis de l'IRSN n° 2013-00159 (« Évolution du projet Cigéo depuis Dossier 2009 jalon « Jesq03 » ») (17) :

    https://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/Documents/AVIS-IRSN-2013-00159.pdf ;
  - ✓ avis de l'IRSN du 6 novembre 2015 sur le plan de développement des composants du projet Cigéo (18) :

    http://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/Documents/AVIS-IRSN-2015-00348.pdf ;
  - ✓ avis de l'ASN du 20 juin 2016 sur le plan de développement des composants du projet Cigéo (courrier CODEP-DRC-2016-005220) (19) :

- ✓ https://reglementation-controle.asnr.fr/content/download/105672/asn_position/CODEP-DRC-2016-005220.pdf ;
- ✓ avis de l'ASN du 1er décembre 2020 (n° 2020-AV-0369) sur les études concernant la gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL), remises en application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016- 2018, en vue de l'élaboration du cinquième plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs (20) :

  https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2020-AV-0369-de-l-ASN-du-1er-decembre-2020 ;
- ✓ rapport d'évaluation n° 16 de juin 2022 de la CNE, dans lequel la Commission « *considère que l'Andra dispose actuellement des éléments scientifiques et techniques suffisants pour asseoir la démonstration de sûreté en vue de la demande d'autorisation de création (DAC)* » (21) :

  https://cne2.fr/telechargements/RAPPORT_CNE2_16_2022.pdf

- avis sur le choix de la ZIRA :
  - ✓ avis de l'IRSN du 22 décembre 2009 sur le choix de la ZIRA (22) :

    https://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/2010/Pages/Avis-IRSN-Andra-zone-interet-reconnaissance-approfondie-ZIRA-secteur-meuse-haute-marne.aspx ;
  - ✓ avis de l'ASN du 5 janvier 2010 (n° 2010-AV-0084) sur le choix de la ZIRA (23) :

    https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2010-AV-0084-du-5-janvier-2010-de-l-ASN ;
  - ✓ courrier du Ministère de l'écologie du 09 mars 2010 validant le choix de la ZIRA (24) (cf. Chapitre 4.4 du présent document).

- avis sur la réversibilité de Cigéo :
  - ✓ avis de l'ASN du 26 juillet 2011 (n° 2011-AV-129) sur le dossier de stockage réversible (14) :

    http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2015-AV-0227-de-l-ASN-du-10-fevrier-2015 ;
  - ✓ avis de la CNE du 25 mars 2013 sur la réversibilité (25) :

    https://www.cne2.fr/telechargements/avis/Avis_reversibilite.pdf ;
  - ✓ avis de l'ASN du 31 mai 2016 (n° 2016-AV-0267) sur la réversibilité du stockage (26) :

    http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2016-AV-0267-de-l-ASN-du-31-mai-2016.
- avis sur le coût de la gestion des déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) en couche géologique profonde :
  - ✓ avis de l'ASN du 10 février 2015 (n° 2015-AV- 0227) sur l'évaluation des coûts afférents au projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde (27) :

    http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2015-AV-0227-de-l-ASN-du-10-fevrier-2015 ;
  - ✓ avis de la CNE sur l'estimation du coût du projet Cigéo, février 2015 (28) :

    https://www.cne2.fr/telechargements/avis/Avis-cout-cigeo.pdf.
- avis sur le dossier d'options de sûreté du projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde (Cigéo) :
  - ✓ avis de la CNE, novembre 2016 (29) :

    https://www.cne2.fr/telechargements/avis/Analyse-DOS-DOREC-PDE-Vfinal.pdf ;
  - ✓ revue internationale par les pairs (AIEA) sur le « Dossier d'options de sûreté » du projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde : Cigéo, 2016 (30) :

    https://www.asn.fr/Media/Files/00-Publications/Rapport-de-la-revue-par-les-pairs-CIGEO-dec-2016 ;
  - ✓ avis de l'IRSN du 15 juin 2017 sur le dossier « Projet Cigéo – Dossier d'options de sûreté » (31) :

    https://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/2017/Documents/juin/Avis-IRSN-2017-00190.pdf ;

- ✓ avis de l'ASN du 11 janvier 2018 (n° 2018-AV-0300) sur le dossier d'options de sûreté présenté par l'Andra pour le projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde (2) :

  http://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2018-AV-0300-de-l-ASN-du-11-janvier-2018 ;
- ✓ lettre CODEP-DRC-2018-001635 adressée à l'Andra précisant les options de sûreté satisfaisantes ainsi que les études et justifications complémentaires nécessaires à la demande d'autorisation de création (3) :

  https://www.asn.fr/Media/Files/Lettre-adressee-a-l-Andra-precisant-les-options-de-surete-Cigeo?.

- rapport de l'AIEA (mission ARTEMIS) sur la gestion des déchets radioactifs et du combustible usé en France (février 2018) (32) :

  https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Rapport%20mission%20ARTEMIS%20version%20francaise.pdf ;
- revue externe sur la gestion des déchets bitumés - Rapport final du 28 juin 2019 (33) :

  https://www.asn.fr/Media/Files/00-Publications/Rapport-final-revue-dechets-bitumes ;
- avis de l'ASN du 1er décembre 2020 sur la gestion des déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL) (20) :

  https://www.asn.fr/Reglementer/Bulletin-officiel-de-l-ASN/Installations-nucleaires/Avis/Avis-n-2020-AV-0369-de-l-ASN-du-1er-decembre-2020.
- décision n° 2019/172/CIGEO/10 du 4 décembre 2019 de la Commission nationale du débat public (CNDP) de poursuivre la concertation post débat public jusqu'à l'enquête publique relative à l'utilité publique du projet :

  https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000039509096 (34) ;
- avis sur la demande de déclaration d'utilité publique du projet de centre de stockage Cigéo :
  - ✓ avis délibéré n° Ae 2020-79 de l'Autorité environnementale du 13 janvier 2021 sur le centre de stockage Cigéo (52-55) (35) :

    https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/210113_cigeo_52_55_delibere_cle26329f.pdf ;
  - ✓ dossier d'enquête publique préalable (36) :

    https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-reference#section-14440 ;
  - ✓ conclusions et avis motivés de la commission d'enquête sur la déclaration d'utilité publique et la mise en compatibilité des documents d'urbanisme concernant le projet de centre de stockage en couche géologique profonde des déchets de haute et moyenne activité à vie longue (Cigéo) (37) :

    https://www.registre-numerique.fr/dup-cigeo/voir?rapport=610.
- avis sur les dossiers de la tranche de travaux DR0 du projet Cigéo :
  - ✓ avis délibéré n° Ae 2024-40 de l'Autorité environnementale du 13 janvier 2021 sur le centre de stockage Cigéo (52-55), actualisation de l'avis n° 2020-79

    https://www.igedd.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/04_240619_avis_ae_cigeo-delibere_cle759e41.pdf ;
  - ✓ dossier d'enquête publique unique :

    https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-reference#section-14343
  - ✓ conclusions et avis motivés de la commission d'enquête :
    - concernant la demande d'autorisation environnementale relative aux premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale portées par l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs (dites « opérations DR0 ») du projet de centre de stockage en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie longue (Cigéo)
    - https://www.registre-numerique.fr/dr0-cigeo/telechargement?rapport=1723

- concernant les dossiers d'urbanisme des premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale portées par l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs (dites « opérations DR0 ») du projet de centre de stockage en couche géologique profonde des déchets radioactifs de haute et de moyenne activité à vie longue (Cigéo) :
- https://www.registre-numerique.fr/dr0-cigeo/telechargement?rapport=1722 ;

- avis sur le dossier de chiffrage du projet Cigéo, dont l'Andra a déposé une nouvelle version en mai 2025 :
  - ✓ avis de l'ASNR du 23 septembre 2025 (n° 2025-AV-012) sur les fondements techniques de l'évaluation des coûts afférents au projet de centre de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde Cigéo

    https://reglementation-controle.asnr.fr/reglementation/bulletin-officiel-de-l-asnr/installations-nucleaires/avis/avis-n-2025-av-012-de-l-asnr-du-23-septembre-2025 (38).

4.4 Courrier du ministère de l'Écologie du 09 mars 2010 validant le choix de la ZIRA

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER
EN CHARGE DES TECHNOLOGIES VERTES ET DES NÉGOCIATIONS SUR LE CLIMAT

Le ministre d'État

Paris, le 09 MARS 2010

Référence : D10004151

Monsieur le Président,

La loi du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs prévoit que l'Andra mène des études et recherches sur le stockage réversible profond afin de choisir un site et de concevoir un centre de stockage. Ces travaux doivent être menés de sorte que la demande d'autorisation puisse être instruite en 2015, dans la perspective d'une mise en exploitation à l'horizon 2025 sous réserve de cette autorisation.

Conformément au décret du 16 avril 2008 fixant les prescriptions relatives au Plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs, vous avez proposé fin octobre 2009 une zone de taille restreinte, propice à l'implantation d'un stockage, afin d'y réaliser une reconnaissance approfondie.

Avant de prendre une décision concernant le choix de cette zone, j'ai souhaité recueillir l'avis de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) et de la Commission nationale d'évaluation (CNE). L'ASN a conclu que « la localisation proposée par l'Andra [...] est satisfaisante du point de vue de la sûreté » et que l'ASN « n'a pas d'objection à la réalisation des travaux de reconnaissance prévus par l'Andra dans cette zone ». La CNE a quant à elle estimé que la « [zone] proposée par l'Andra convient à la poursuite, dès à présent, des investigations qui confirmeront ou non le bien-fondé du pronostic incontestablement favorable que l'on peut porter sur les qualités naturelles de cette zone pour y implanter un stockage ». Vous trouverez ci-joint ces deux avis accompagnés d'un certain nombre de recommandations.

Parallèlement, le Comité local d'information et de suivi du Laboratoire de Bure m'a remis ses premières observations, que vous trouverez ci-joint, en attendant un avis plus complet dans quelques mois.

.../...

Monsieur François-Michel GONNOT
Président de l'ANDRA
1-7 rue Jean Monnet
92298 CHATENAY MALABRY CEDEX

Hôtel de Roquelaure – 246, boulevard Saint-Germain – 75007 Paris – Tél : 33 (0)1 40 81 21 22
www.developpement-durable.gouv.fr

Compte tenu de l'ensemble de ces éléments, je souhaite que vous poursuiviez vos investigations sur la zone d'une trentaine de kilomètres carrés que vous avez proposée. Je souhaite également que vous preniez en compte les recommandations de l'ASN et de la CNE, et que vous vous attachiez à apporter des réponses aux interrogations formulées par certains membres du CLIS.

Ces investigations devront être menées de façon à ce que vous puissiez remettre d'ici fin 2012, conformément au décret du 16 avril 2008, un dossier support au débat public prévu avant le dépôt de la demande d'autorisation du stockage. Ce dossier comprendra notamment une proposition de site d'implantation du stockage géologique profond.

Dans cette perspective, vous veillerez à étudier l'implantation de l'entrée de la descenderie pour le stockage dans la zone limitrophe de Meuse/Haute-Marne, conformément au relevé de conclusions de la réunion du Comité de Haut Niveau du 18 novembre 2009.

Enfin, je vous demande de bien vouloir vous coordonner, tout au long de la démarche que vous allez entreprendre, avec le préfet de la Meuse chargé d'élaborer le schéma territorial interdépartemental.

Je sais pouvoir compter sur votre expérience et votre savoir-faire pour mener à bien ce projet. A cet égard, je tiens à vous féliciter, ainsi que l'ensemble des équipes de l'Andra, pour la qualité des travaux que vous avez d'ores et déjà réalisés et qui ont permis de sélectionner cette zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie.

En vous assurant de ma confiance et de mon soutien, je vous prie de croire, Monsieur le Président, à l'assurance de mes sentiments les meilleurs.

Jean-Louis BORLOO

TABLEAU DE TRAÇABILITE DES PRINCIPALES EVOLUTIONS

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

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

Paragraphe actualisé		Actualisation liée à								
		Évolution réglementaire	Instruction technique avec l'ASNR	Cohérence dossier	Cohérence DR0	Cohérence dossier de chiffrage	Cohérence dossiers PNGMDR	Cohérence politique énergétique	Cohérence planning	Cohérence conditionnement
1.1	Objet de la pièce			X						
1.2	Contenu de la pièce	X		X X	X					

Paragraphe actualisé		Actualisation liée à								
		Évolution réglementaire	Instruction technique avec l'ASNR	Cohérence dossier	Cohérence DR0	Cohérence dossier de chiffrage	Cohérence dossiers PNGMDR	Cohérence politique énergétique	Cohérence planning	Cohérence conditionnement
2.1	Avis de l'ASN sur le dossier d'options de sûreté de Cigéo (DOS)			X						
2.2	Avis de l'Autorité environnementale (Ae) sur l'étude d'impact de la demande d'autorisation de création			X	X					
2.3	Avis des collectivités territoriales	X		X						
3	Les avis, rapport et évaluation requis au titre de la réglementation spécifique à l'INB Cigéo	X		X						
4.1	Décision de la Commission nationale du débat public (CNDP)			X						

Paragraphe actualisé		Actualisation liée à								
		Évolution réglementaire	Instruction technique avec l'ASNR	Cohérence dossier	Cohérence DR0	Cohérence dossier de chiffrage	Cohérence dossiers PNGMDR	Cohérence politique énergétique	Cohérence planning	Cohérence conditionnement
4.2	Consultation du Comité local d'information et de suivi (CLIS) du Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne			X	X					
4.3	Liste non exhaustive des principaux avis non requis au titre de l'enquête publique de la demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base Cigéo			X						

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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

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

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

4 Décret n° 2025-771 du 4 août 2025 définissant la zone de consultation des collectivités territoriales de l'article L. 542-10-1 du code de l'environnement. Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique; Ministre auprès du ministre de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, chargé de l'Industrie et de l'Énergie (2025). Journal officiel de la République française (JORF), N°ECOP2517752D.

5 Première réunion du groupe permanent d'experts pour les déchets relative à l'examen de la demande d'autorisation de création de Cigéo. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2024). Consulté le 07/08/2025. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/information/archives-des-actualites/premiere-reunion-du-gpd-relative-a-l-examen-de-la-demande-d-autorisation-de-creation-de-cigeo.

6 Le groupe permanent d'experts pour les déchets émet ses recommandations sur la sûreté de Cigéo en phase d'exploitation. Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) (2025). Consulté le 07/08/2025. Disponible à l'adresse : https://www.asnr.fr/actualites/le-groupe-permanent-dexperts-pour-les-dechets-emet-ses-recommandations-sur-la-surete-de.

7 Recommandations du GP déchets sur la sûreté à long terme de Cigéo en phase d'après-fermeture. Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) (2025). Consulté le 07/08/2025. Disponible à l'adresse : https://www.asnr.fr/actualites/recommandations-du-gp-dechets-sur-la-surete-long-terme-de-cigeo-en-phase-dapres.

8 The French R&D Programme on Deep Geological Disposal of Radioactive Waste: An International Peer Review of the "Dossier 2001 Argile". Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE); Nuclear Energy Agency (NEA) (2003). 77 p. Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2003/nea4432-andraeng.pdf.

9 Avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire sur le Dossier 2005 Argile - Document présenté devant le groupe permanent chargé des installations destinées au stockage à long terme des déchets radioactifs les 12 et 13 décembre 2005. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2005). N°DSU 106. 248 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN_rapport_2005_argile.pdf.

10 Sûreté du stockage géologique de déchets radioactifs HAVL en France : examen international par des pairs du "Dossier 2005 Argile" concernant le stockage dans la formation du Callovo-Oxfordien. Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE); Nuclear Energy Agency (NEA) (2006). N°NEA 6179. 81 p. Disponible à l'adresse : https://www.oecd-nea.org/rwm/reports/2006/nea6179-havl.pdf.

11 Avis de l'Autorité de sûreté nucléaire sur les recherches relatives à la gestion des déchets à haute activité et à vie longue (HAVL) menées dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991, et liens avec

le PNGDR-MV. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2006). 10 p. Disponible à l'adresse : https://www.cigeo.gouv.fr/sites/default/files/2018-08/AVIS-ASN-dechets-2006-02-01.pdf.

12 Rapport global d'évaluation des recherches conduites dans le cadre de la loi du 30 décembre 1991. Commission nationale d'évaluation relative aux recherches sur la gestion des déchets radioactifs (CNE) (2006). 38 p. Disponible à l'adresse : https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/064000240.pdf.

13 Avis de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire sur le "Dossier 2009 - Projet HA, MA-VL" et sur le "DAIE" du laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne - Réunion du groupe permanent pour les déchets des 29 et 30 novembre 2010. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2010). N°IRSN 2010-00002. 193 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_gp/Documents/Dechets/IRSN-Rapport-GP_HA-MAVL-Dossier-2009_2010-00002.pdf.

14 Avis n° 2011-AV-129 du 26 juillet 2011 de l'Autorité de sûreté nucléaire sur le dossier relatif au stockage réversible profond des déchets de haute et moyenne activité à vie longue déposé par l'Andra conformément à l'article 11 du décret n° 2008-357 du 16 avril 2008. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2011). 3 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/52193/362788?version=1.

15 Avis n° 2013-AV-0179 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 mai 2013 sur les documents produits par l'Andra depuis 2009 relatifs au projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2013). N°2013-AV-0179. 6 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/l-asn-reglemente/bulletin-officiel-de-l-asn/installations-nucleaires/avis/avis-n-2013-av-0179-de-l-asn-du-16-mai-2013.

16 Avis de la Commission sur les propositions de l'Andra : l'esquisse Cigéo. Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) (2013). 2 p. Disponible à l'adresse : https://www.cne2.fr/telechargements/avis/Avis_Esquisse_cigeo.pdf.

17 Avis de l'IRSN n° 2013-00159 sur les évolutions du projet Cigéo depuis le Dossier 2009, au stade du jalon "Jesq03" - Lettre ASN/CODEP-DRC-2013-015771 du 18 mars 2013. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2013). N°2013-00159. 14 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/Documents/AVIS-IRSN-2013-00159.pdf.

18 Avis de l'IRSN n° 2015-00348 Andra - Cigéo - Plan de développement des composants du projet Cigéo - Lettre ASN/CODEP-DRC-2015-009127 du 9 mars 2015. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2015). 11 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/Documents/AVIS-IRSN-2015-00348.pdf.

19 Lettre CODEP-DRC-2016-005220 de l'ASN du 20 juin 2016 relative au dossier "projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde - plan de développement des composants du projet Cigéo". Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2016). N°CODEP-DRC-2016-005220. 7 p.

20 Avis n° 2020-AV-0369 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 1er décembre 2020 sur les études concernant la gestion des déchets radioactifs de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL), remises en application du plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs 2016-2018, en vue de l'élaboration du cinquième plan national de gestion des matières et des déchets radioactifs. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2020). N°2020-AV-0369. 16 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/174416/1798843?version=2.

21 Rapport d'évaluation n° 16. Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) (2021). 94 p. Disponible à l'adresse : https://cne2.fr/telechargements/RAPPORT_CNE2_16_2022.pdf.

22 Avis de l'IRSN sur les critères retenus par l'Andra pour le choix d'une « zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) » en vue du projet HA, MA-VL - Site de Meuse/Haute-Marne.

Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2009). N°2009-166. 5 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/Documents/Avis_IRSN_ZIRA_22122009.pdf.

23 Avis n° 2010-AV-0084 du 5 janvier 2010 de l'Autorité de sûreté nucléaire sur le dossier de l'Agence nationale de gestion des déchets radioactifs (Andra) relatif à la proposition d'une zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie et de scénarios d'implantation en surface pour un stockage réversible en formation géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2010). N°2010-AV-0084. 5 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/51988/362169?version=1.

24 Borloo, J.L. Accord sur poursuites investigations ZIRA (Zone implantation reconnaissance approfondie). Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, en charge des Technologies vertes et des Négociations sur le climat (2010). N°D10004151. 2 p.

25 Avis de la Commission sur les propositions de l'Andra : la réversibilité. Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) (2013). 2 p. Disponible à l'adresse : https://www.cne2.fr/telechargements/avis/Avis_reversibilite.pdf.

26 Avis n° 2016-AV-0267 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 31 mai 2016 relatif à la réversibilité du stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2016). N°2016-AV-0267. 3 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/103432/762427?version=1.

27 Avis n° 2015-AV-0227 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 10 février 2015 relatif à l'évaluation des coûts afférents au projet Cigéo de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2015). N°2015-AV-0227. 7 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/content/download/100281/729428?version=1.

28 Chiffrage Cigéo en phase esquisse - Avis de la CNE2 sur l'estimation du coût : convergences et divergences entre l'Andra et les producteurs au niveau des coûts. Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) (2015). 5 p. Disponible à l'adresse : https://www.cne2.fr/telechargements/avis/Avis-cout-cigeo.pdf.

29 Analyse des documents Cigéo 2016 et recommandations. Commission nationale d'évaluation des recherches et études relatives à la gestion des matières et des déchets radioactifs (CNE2) (2016). 22 p. Disponible à l'adresse : https://www.cne2.fr/telechargements/avis/Analyse-DOS-DOREC-PDE-Vfinal.pdf.

30 Revue internationale par les pairs sur le "Dossier d'options de sûreté" du projet de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde Cigéo - Rapport de la revue par les pairs. Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) (2016). 38 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/00-Publications/Rapport-de-la-revue-par-les-pairs-CIGEO-dec-2016.

31 Avis IRSN n° 2017-00190 - Avis relatif au dossier « Projet Cigéo - Dossier d'Options de Sûreté ». Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2017). N°2017-00190. 9 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/avis/2017/Documents/juin/Avis-IRSN-2017-00190.pdf.

32 Rapport du service d'examen intégré portant sur la gestion, le déclassement et la dépollution des déchets radioactifs et du combustible usé (Artemis) - Mission en France. International Atomic Energy Agency (IAEA) (2018). 73 p. Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Rapport%20mission%20ARTEMIS%20version%20francaise.pdf.

33 Revue externe sur la gestion des déchets bitumés : rapport final. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2019). 97 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/00-Publications/Rapport-final-revue-dechets-bitumes?

34 Décision n° 2019/172/Cigéo/10 du 4 décembre 2019 relative au projet de création d'un centre de stockage réversible profond de déchets radioactifs en Meuse/Haute-Marne (projet Cigéo). Commission nationale du débat public (CNDP) (2019). Journal officiel de la République française (JORF), N°CNPX1935467S.

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

36 Le dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique. Andra (2021). Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-reference#section-8057.

37 Conclusions générales et avis motivés sur la Déclaration d'utilité publique (DUP), la mise en compatibilité des documents d'urbanisme (MECDU) concernant le projet de centre de stockage en couche géologique profonde des déchets de haute et moyenne activité à vie longue (Cigéo) - Enquête publique du 15 septembre au 23 octobre 2021. Département de la Haute-Marne; Département de la Meuse (2021). 43 p. Disponible à l'adresse : https://www.registre-numerique.fr/dup-cigeo/voir?rapport=610.

38 Avis n° 2025-AV-012 de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection du 23 septembre 2025 sur les fondements techniques de l'évaluation des coûts afférents au projet de centre de stockage de déchets radioactifs en couche géologique profonde Cigéo. Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (ASNR) (2025). 4 p. Disponible à l'adresse : https://reglementation-controle.asnr.fr/content/download/205883/file/Avis%20n%C2%B0%202025-AV-012.pdf.

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

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