RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ANDRA

2026

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

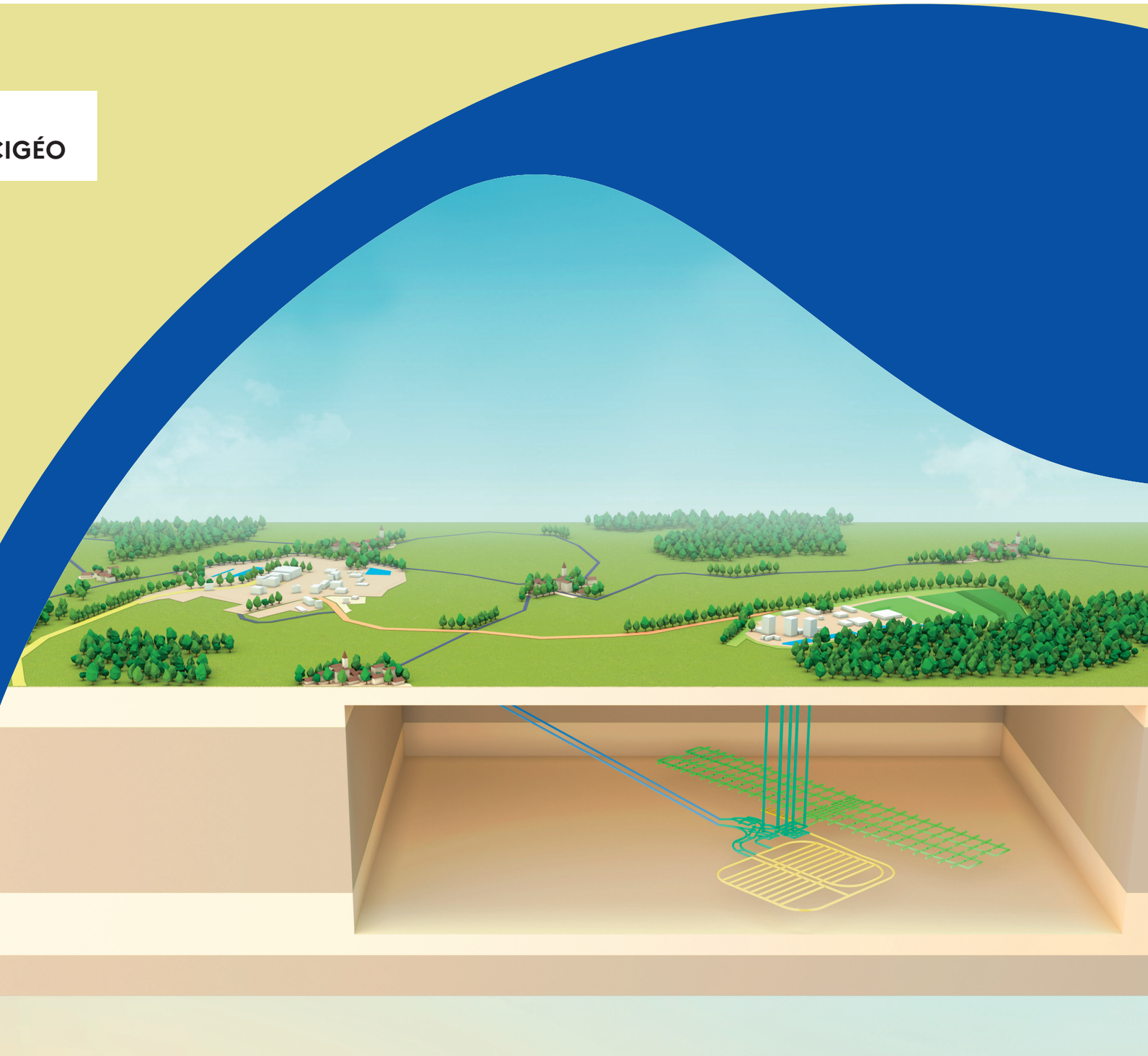
PIÈCE 6

Étude d'impact du projet global Cigéo

Volume 4

Évaluation des incidences
et mesures d'évitement,
de réduction
et de compensation
de ces incidences

Chapitres 1 à 4



MISE À JOUR DE L'ÉTUDE D'IMPACT 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). La mise à jour de l'étude d'impact tient compte également des modifications apportées à l'analyse des incidences du projet global résultant des dossiers de la tranche de travaux DR0 concernant les premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale et leur instruction.

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

- des barres vertes en marge du texte pour tracer les modifications ou ajouts apportés à l'étude d'impact du dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo. Ces évolutions cumulent les modifications apportées à l'étude d'impact dans le cadre de l'EI-DAC (première actualisation déposée le 16 janvier 2023) et d'EI-DR0 portant sur les premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale (dites DR0, deuxième actualisation déposée le 6 mars 2024) ;
- des barres bleues en marge du texte pour tracer les modifications ou ajouts apportés à l'étude d'impact depuis la version EI-DR0 ;
- un surlignage gris pour tracer les modifications ou ajouts depuis les consultations réglementaires ;
- des tableaux de traçabilité des principales évolutions de l'étude d'impact.

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

Sommaire

1. Méthodologie d'analyse des incidences 7

1.1 Identification et évaluation des incidences 8
1.1.1 Identification du type d'incidences 8
1.1.2 Appréciation du niveau d'incidence 9
1.2 Séquence éviter/réduire/compenser 9
1.2.1 Définition des mesures selon la séquence éviter/réduire/compenser les incidences 9
1.2.2 Démarche d'analyse selon la séquence ERC 10

2. Atmosphère – Incidences et mesures 13

2.1 Conditions météorologiques locales 14
2.1.1 Incidences potentielles 14
2.1.2 Mesures d'évitement et de réduction 17
2.1.3 Incidences résiduelles 18
2.1.4 Synthèse des incidences et mesures sur les conditions météorologiques locales 19
2.2 Vulnérabilité au changement climatique 20
2.2.1 Incidences potentielles 20
2.2.2 Mesures d'évitement et de réduction 20
2.2.3 Incidences résiduelles 22
2.2.4 Synthèse des incidences et mesures vis-à-vis de la vulnérabilité au changement climatique 22
2.3 Énergie et gaz à effet de serre (GES) 24
2.3.1 Incidences potentielles 24
2.3.2 Mesures d'évitement et de réduction 25
2.3.3 Incidences résiduelles 29
2.3.4 Synthèse des incidences et mesures relatives à l'énergie et aux émissions de GES 31
2.4 Qualité de l'air 33
2.4.1 Émissions conventionnelles 33
2.4.2 Émissions radioactives 59
2.5 Compatibilité du projet global Cigéo avec les documents de planification relatifs à l'air, l'énergie et le climat 67
2.5.1 Compatibilité du projet global Cigéo avec les plans de planification (hors SRADDET) 67
2.5.2 Compatibilité du projet avec les règles du SRADDET Grand Est 68

3. Sol – Incidences et mesures 71

3.1 Incidences potentielles 72
3.2 Mesures d'évitement 72
3.2.1 Réutilisation d'installations existantes 72
3.2.2 Utilisation de la voirie existante, des chemins et autres pistes ainsi que les layons existants 73
3.3 Modification du relief, terrassements et mouvements de terres 73
3.3.1 Incidences après mesures d'évitement 73
3.3.2 Mesures de réduction 75
3.3.3 Incidences résiduelles 76
3.4 Changement d'occupation des sols 76
3.4.1 Incidences après mesures d'évitement 76
3.4.2 Mesures de réduction 80
3.4.3 Incidences résiduelles 82
3.4.4 Mesures compensatoires 85
3.5 Pollution des sols 85
3.5.1 Incidences après mesures d'évitement 85
3.5.2 Mesures de réduction 86
3.5.3 Incidences résiduelles 89
3.6 Synthèse des incidences et mesures sur les sols 90

4. Sous-sol – Incidences et mesures 95

4.1 Incidences potentielles 96
4.2 Pollution accidentelle physico-chimique 96
4.2.1 Mesures d'évitement et de réduction 96
4.2.2 Incidences résiduelles 96
4.3 Contamination potentielle par les radionucléides et les substances toxiques chimiques contenus dans les colis de déchets 97
4.3.1 Mesures d'évitement et de réduction 97
4.3.2 Incidences résiduelles 101
4.4 Vulnérabilité aux risques sismiques d'origine naturelle et anthropique 103
4.4.1 Mesures d'évitement et de réduction 103
4.4.2 Incidences résiduelles 103
4.5 Vulnérabilité aux risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et de tassements 104
4.5.1 Mesures d'évitement et de réduction 104
4.5.2 Incidences résiduelles 105
4.6 Exploitation des ressources du sous-sol 108
4.6.1 Mesures d'évitement 108
4.6.2 Incidences après mesures d'évitement 108
4.6.3 Mesures de réduction 111
4.6.4 Incidences résiduelles 111
4.6.5 Compatibilité avec le schéma régional des carrières 111
4.7 Synthèse des incidences et mesures sur le sous-sol 114

Tableau de traçabilité des principales évolutions de l'étude d'impact 121

Tables des illustrations 129

Références bibliographiques 131

Préambule

L'étude d'impact du projet global Cigéo est constituée de sept volumes pour l'étude elle-même et d'un résumé non technique de ces sept volumes.

	ÉTUDE D'IMPACT	
RNT	Résumé non technique de l'étude d'impact	
VOLUME I	Introduction et contexte réglementaire	
VOLUME II	Justification et description du projet global Cigéo	
VOLUME III	État actuel de l'environnement et facteurs susceptibles d'être affectés par le projet	
	Partie 1 : chapitre 1 à 4	1 - Méthodologie d'analyse de l'état initial/2 - Atmosphère/3 - Sol/4 - Sous-sol
	Partie 2 : chapitre 5	5 - Eaux
	Partie 3 : chapitre 6	6 - Biodiversité et milieu naturel (partie 1)
	Partie 4 : chapitre 6	6 - Biodiversité et milieu naturel (partie 2)
	Partie 5 : chapitre 7 à 13	7 - Population, emploi, activités économiques et habitat/8 - Activités agricoles et sylvicoles / 9 - Réseaux/10 - Déchets radioactifs et conventionnels/11 - Risques/12 - Infrastructures de transport/13 - Cadre de vie
	Partie 6 : chapitre 14 à 17	14 - Paysage, patrimoine culturel, tourisme et activités de loisirs/15 - Planification territoriale et aménagement du territoire/16 - Interactions entre les différents milieux de l'environnement/17 - Synthèse des facteurs susceptibles d'être affectés par le projet global Cigéo et hiérarchisation des enjeux
	Partie 7	Annexes au volume III (en 3 parties)
VOLUME IV	**Évaluation des incidences et mesures d'évitement, de réduction et de compensation de ces incidences**	
	Partie 1 : chapitre 1 à 4	**1 - Méthodologie d'analyse des incidences/2 - Atmosphère/3 - Sol/4 - Sous-sol**
	Partie 2 : chapitre 5	5 - Eaux
	Partie 3 : chapitre 6	6 - Biodiversité et milieu naturel
	Partie 4 : chapitre 7 à 13	7 - Emploi, activités économiques, population et habitat/8 - Activités agricoles et sylvicoles/ 9 - Réseaux/10 - Déchets radioactifs et conventionnels/11 - Risques/12 - Infrastructures de transport/13 - Cadre de vie
	Partie 5 : chapitre 14 à 16	14 - Paysage, patrimoine culturel, tourisme et activités de loisirs/15 - Planification territoriale et aménagement du territoire (y compris urbanisme) - Compatibilité avec les documents de planification territoriale/16 - Interactions et effets cumulés
	Partie 6 : chapitre 17 à 22	17 - Meilleures techniques disponibles/18 - Incidences des opérations de démantèlement et de fermeture et incidences après fermeture définitive/19 - Nature et modalités de suivi des mesures environnementales et de surveillance/20 - Estimation des dépenses liées aux mesures prises pour l'environnement/21 - Évolution de l'environnement en cas de mise en œuvre du projet et en son absence/22 - Synthèse des incidences du projet global Cigéo sur l'environnement
	Partie 7	Annexes au volume IV

[1] https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-reference (2).

	ÉTUDE D'IMPACT	
VOLUME V	Évaluation des incidences sur les sites Natura 2000	
VOLUME VI	Évaluation des incidences sur la santé humaine	
VOLUME VII	Partie 1	Présentation des méthodes de réalisation de l'étude d'impact (chapitres 1 à 6)
	Partie 2	Présentation des méthodes de réalisation de l'étude d'impact (chapitres 7 à 18)

Ce **volume IV** présente la description des incidences ou impacts que le projet global Cigéo est susceptible d'avoir sur l'homme et l'environnement ainsi que les mesures que les maîtres d'ouvrage se proposent de mettre en œuvre pour éviter ces impacts, réduire les impacts ne pouvant être évités et, lorsque c'est nécessaire et possible, compenser les impacts qui n'ont pu être ni évités ni suffisamment réduits.

Cette analyse des incidences du projet global Cigéo sur l'environnement est organisée selon le même modèle que celui du volume III relatif à l'état initial de l'environnement et présenté dans le tableau ci-contre.

Les chapitres 16 à 22 sont des chapitres transversaux complétant l'analyse par facteurs, effectuée dans les chapitres 2 à 15.

Le présent document constitue la partie 1 du volume IV.

ÉTUDE D'IMPACT ET PROJET GLOBAL CIGÉO

La version initiale de l'étude d'impact du projet global Cigéo (EI-DUP) a été jointe au dossier d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo, déclaration délivrée par le décret n° 2022-993 du 7 juillet 2022 (1) :

- une première actualisation (EI-DAC1) a été réalisée pour le dossier de demande d'autorisation de création (DAC) de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo, déposé le 16 janvier 2023 et dont la recevabilité a été confirmée le 22 juin 2023 par l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), engageant ainsi le démarrage de l'instruction du dossier ;
- une deuxième actualisation (EI-DR0) a été jointe au dossier de demande d'autorisation environnementale et aux dossiers de demande d'autorisation d'urbanisme (permis de construire, déclarations préalables), pour des demandes concernant les premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale - dénommées DR0. Ces demandes ont été déposées le 6 mars 2024 et les autorisations ont été délivrées les 11, 21 et 22 juillet 2025. Cette deuxième actualisation de l'étude d'impact est disponible sur le site de l'Andra[1].

L'étude d'impact (EI-DAC3) jointe à la version du dossier de demande d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo et en vue de l'enquête publique, prend donc en compte, outre les éléments figurant déjà dans l'actualisation réalisée en vue du dépôt du dossier de DAC :

- l'actualisation réalisée dans le cadre des demandes d'autorisation concernant les premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale - dénommées DR0 et intégrant notamment le meilleur état disponible de description des travaux objet de ces demandes. Leurs incidences sont intégrées au projet global Cigéo ;
- la mise à jour de l'EI-DAC2 réalisée en vue des consultations règlementaires, incluant la saisine de l'autorité environnementale (qui a rendu son avis le 18 décembre 2025) dans le cadre de l'instruction du dossier de demande d'autorisation de création (DAC) de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Cette mise à jour comprend les évolutions de connaissances sur certaines composantes du projet ou de l'environnement, les évolutions réglementaires, l'évolution de l'inventaire de réserve en cohérence avec les orientations alors disponibles pour la troisième PPE, ainsi que des éléments apportés en cours d'instruction technique (des précisions et des engagements avec échéance avant la fin de l'instruction technique) ;

- une mise à jour postérieure aux consultations réglementaires pour intégrer des précisions notamment relatives à la troisième Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE3) publiée en février 2026 ainsi qu'à l'édition 2026 des essentiels de l'inventaire national. Cette mise à jour n'a pas nécessité de reprise de l'étude d'impact en lien avec l'avis de l'Autorité environnementale. Le mémoire en réponse à cet avis ainsi que le suivi des engagements de l'Andra sont consultables dans la pièce 18 du présent dossier.

Les évolutions entre ces versions sont rendues visibles pour le lecteur et les services instructeurs afin qu'ils puissent avoir connaissance des modifications par rapport aux versions de l'étude d'impact instruites et portées à la connaissance du public. Dans le texte, une bordure verte met en exergue toutes les évolutions depuis l'étude d'impact initiale (EI-DUP) liées aux deux actualisations EI-DAC1 et EI-DR0 évoquées précédemment. Une bordure bleue met en exergue les mises à jour réalisées postérieurement au dépôt des dossiers du jalon DR0 en vue des consultations règlementaires de la procédure d'autorisation de création (EI-DAC2). Un surlignage gris met en exergue les évolutions depuis les consultations réglementaires, constituant la mise à jour EI-DAC3. Le détail de ces évolutions est présenté dans le chapitre 3 du volume I de la présente étude d'impact.

L'étude d'impact identifie et apprécie les incidences sur l'environnement du projet global Cigéo, qui comprend le centre de stockage Cigéo et l'ensemble des opérations (activités, installations, ouvrages, travaux et aménagements) nécessaires à sa réalisation et à son exploitation, dont l'installation nucléaire de base (INB). Ces opérations sont menées par l'Andra et par d'autres maîtres d'ouvrage.

En raison de la nature et de la dimension du centre de stockage Cigéo, ses incidences sur l'environnement constituent la part majeure des incidences du projet global Cigéo, même si les opérations des autres maîtres d'ouvrage sont également susceptibles d'avoir des incidences sur l'environnement.

À ce stade, les opérations des autres maîtres d'ouvrage liées au fonctionnement du centre de stockage Cigéo ne sont pas aux mêmes stades d'avancement de leur conception et de leurs processus de concertation et de validation. L'analyse de leurs incidences est donc proportionnée à leur stade d'avancement respectif.

La présente étude d'impact sera ultérieurement réactualisée dans l'hypothèse où tout ou partie des incidences du projet sur l'environnement n'auraient pu être complètement identifiées ou appréciées avant l'octroi d'une autre autorisation requise dans le cadre du projet global Cigéo, conformément à l'article L. 122-1-1 du code de l'environnement.

Ce processus de réactualisation prévu par la loi permet de garantir la qualité de l'évaluation des incidences environnementales des projets complexes tels que le projet global Cigéo, en lien avec les précisions apportées à sa conception et sa réalisation.

1

Méthodologie d'analyse des incidences

1.1 Identification et évaluation des incidences 8
1.2 Séquence éviter/réduire/compenser 9

L'évaluation des incidences du présent volume IV de la présente étude d'impact est réalisée à partir de l'état initial de l'environnement et des caractéristiques du projet global Cigéo, présentés respectivement dans les volumes III et II de la présente étude d'impact. Les méthodes d'évaluation des incidences sont présentées dans le volume VII de la présente étude d'impact du projet global Cigéo.

L'objectif de cette démarche est d'appréhender les incidences (appelées aussi impacts ou effets) positives ou négatives du projet global Cigéo sur l'environnement et la santé humaine, en tenant compte de ses caractéristiques et de celles des milieux d'implantation afin d'éviter et réduire l'impact environnemental du projet global Cigéo, voire de le compenser si nécessaire.

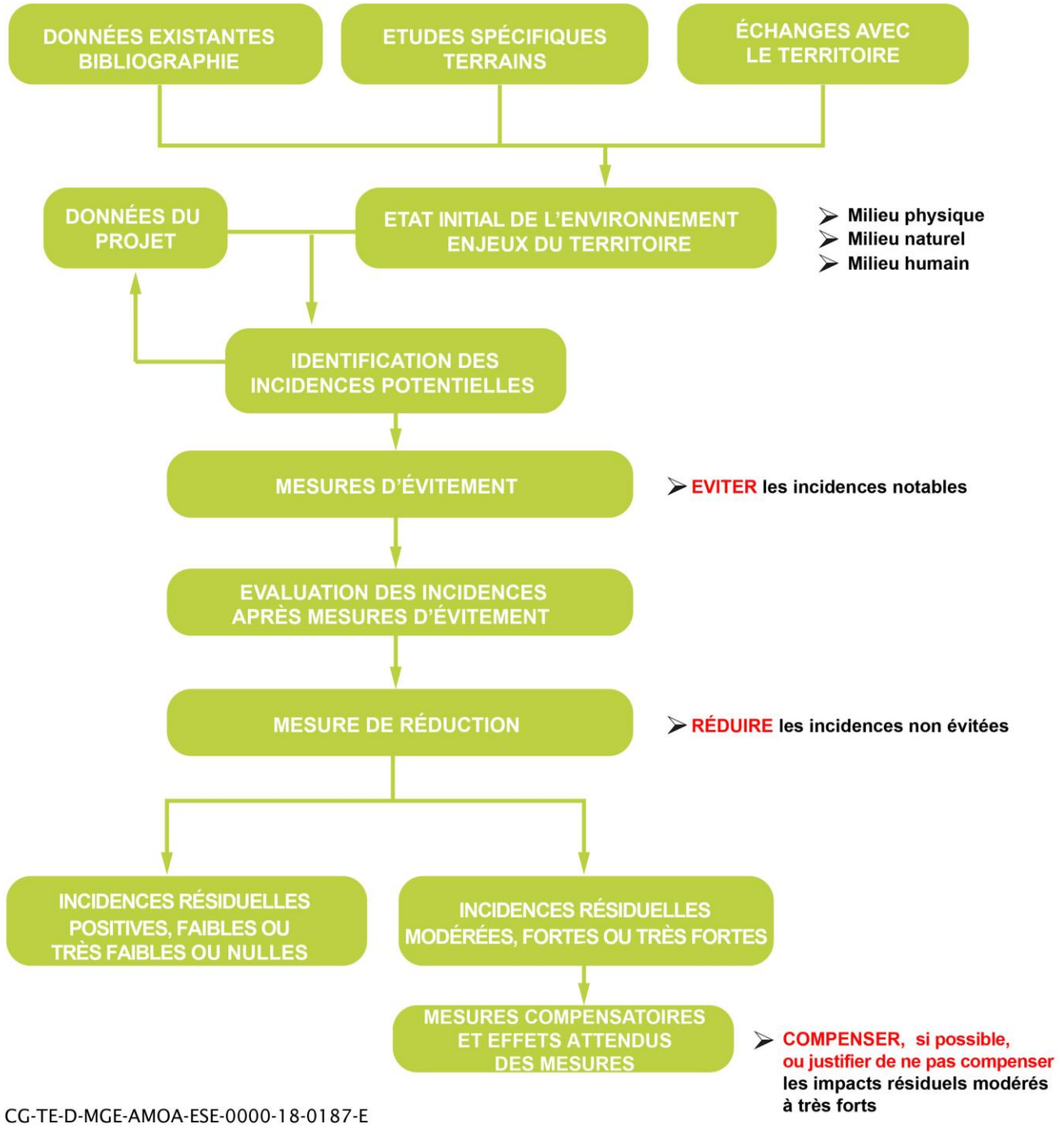


Figure 1-1 Présentation générale de la démarche d'évaluation des incidences (impacts)

1.1 Identification et évaluation des incidences

1.1.1 Identification du type d'incidences

1.1.1.1 Effets directs/indirects

Les effets du projet sur l'environnement sont principalement des effets directs dans l'espace et dans le temps. Ils sont induits par l'implantation du projet, et liés notamment à la modification de l'occupation des sols, la destruction d'habitats d'espèces, la modification des paysages. Ils peuvent aussi être induits par les différentes émissions liées à sa construction, puis son fonctionnement.

Des effets indirects secondaires, souvent conséquences d'effets directs, se produisant parfois à distance, peuvent également être observés. Ils peuvent correspondre par exemple à des conséquences d'une évolution du contexte socio-économique ou d'une évolution des écosystèmes.

1.1.1.2 Effets temporaires/permanents

Les effets peuvent être permanents et engendrer une modification du milieu non réversible. Ils peuvent aussi être temporaires, l'effet est alors limité dans le temps soit parce qu'il disparaît immédiatement après l'arrêt de la cause, soit parce que son intensité s'atténue progressivement jusqu'à disparaître.

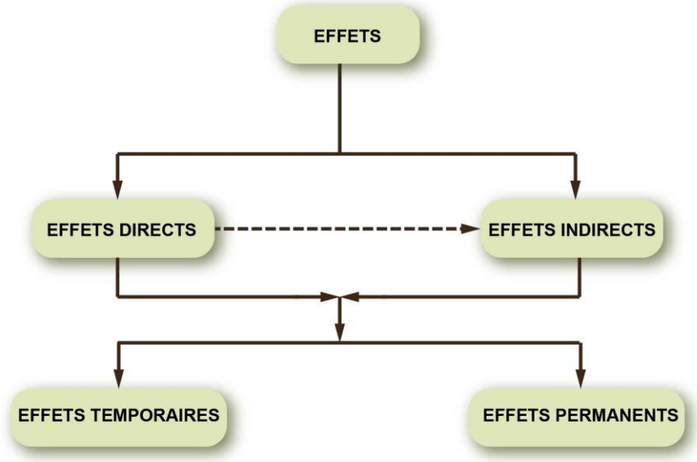


Figure 1-2 Des effets de différents types

1.1.1.3 Effets à court/moyen/long terme

Les incidences correspondant aux effets induits par le projet sur les milieux sont évaluées au regard des données de l'état initial de l'environnement et des enjeux associés. L'évaluation des incidences prend en compte l'évolution dans le temps du projet global Cigéo et ses différentes phases de vie. Les phases du projet global Cigéo sont présentées dans le chapitre 4 du volume II de la présente étude d'impact.

Les effets d'un projet peuvent survenir à différentes échelles de temps. Ils sont qualifiés d'effets à court, moyen et long terme. Dans la présente étude d'impact, il a été considéré que les effets à court terme correspondent à ceux de la phase d'aménagements préalables et de construction initiale, que les effets à moyen terme correspondent à ceux de la phase de fonctionnement (jusqu'à l'horizon 2150), et que les effets à long terme correspondent à ceux des phases de démantèlement et de fermeture, de surveillance et de post-surveillance.

Compte tenu de l'échelle très longue visée par la gestion durable des déchets radioactifs HA et MA-VL, les incidences du centre de stockage Cigéo sur la santé humaine, liés aux substances radioactives à vie longue, sont étudiés spécifiquement à très long terme, en phase de post-surveillance, jusqu'à plusieurs centaines de milliers d'années. Cela est plus spécifiquement abordé dans le chapitre 18 du volume 4 de la présente étude d'impact.

1.1.2 Appréciation du niveau d'incidence

La démarche d'évaluation des incidences intègre la séquence « éviter, réduire, compenser » (voir la méthodologie détaillée dans le chapitre 1.2 du présent volume) et est itérative.

L'évaluation de l'incidence dépend des phénomènes impliqués en lien direct avec la nature des opérations considérées (émissions, occupation de sols…) ainsi que de leur ampleur, de leur durée et des enjeux des différents facteurs de l'environnement.

La caractérisation des niveaux d'incidence « très fort », « fort », « modéré », « faible », « très faible » ou « positif » sur les différents facteurs s'appuie sur les éléments d'appréciation présentés dans le tableau 1-1. Certains effets du projet global Cigéo, compte tenu des spécificités du milieu, peuvent avoir une incidence positive. Il s'agit en premier lieu de l'impact positif liée à la gestion en elle-même des déchets HA et MA-VL mais aussi par exemple de la création d'emplois liés au projet contribuant au développement socio-économique local.

Les différents éléments d'appréciation des niveaux d'impacts sont synthétisés dans le tableau 1-1 et sont utilisés comme « fil conducteur » pour apprécier le niveau des impacts.

Tableau 1-1 Éléments d'appréciation du niveau d'incidence (grille indicative d'évaluation)

Niveau d'incidence	Éléments d'appréciation
Positif	Amélioration directe ou indirecte du facteur par la réalisation du projet
Très faible	Absence d'effet Altération nulle ou marginale d'un facteur de l'environnement
Faible	Altération légère d'un facteur de l'environnement qui ne modifie pas ses fonctionnalités Effet peu perceptible sur une faible zone géographique et sur une durée limitée ou ponctuelle
Modéré	Modification perceptible d'un facteur de l'environnement localisée ou limitée dans le temps Perturbation ou dégradation importante de facteurs à enjeu faible
Fort	Modification importante d'un facteur de l'environnement sur une période longue ou permanente Perturbation ou dégradation importante de facteurs à enjeu modéré à fort
Très fort	Modification très importante d'un facteur de l'environnement sur une période longue ou permanente Destruction d'un facteur de l'environnement présentant un enjeu fort ou dégradation d'un facteur de l'environnement présentant un enjeu très fort

Il n'y a pas, dans le code de l'environnement, de définition de ce qu'est une incidence notable, telle qu'abordée dans l'article R. 122-5 fixant le contenu d'une étude d'impact. Aussi, sur une échelle à cinq niveaux d'incidences négatives, il a été choisi dans cette étude d'impact de considérer que les trois niveaux négatifs les plus élevés (modéré, fort et très fort) correspondent aux incidences négatives notables.

1.2 Séquence éviter/réduire/compenser

Les incidences et mesures applicables des phases APR (aménagement préalable), CI (construction initiale) et/ou F (fonctionnement) du projet global Cigéo – telles que décrites en détail dans le volume II de l'étude d'impact - sont traitées, par facteur environnemental, dans les chapitres 2 à 15 du présent volume.

Les incidences et mesures de la phase démantèlement/fermeture et de la phase de surveillance et post-surveillance après-fermeture sont, elles, spécifiquement traitées dans le chapitre 18 du présent volume.

La séquence « éviter, réduire, compenser », dite séquence ERC, a été introduite dans la méthodologie des études environnementales dès les années 90. Transposée progressivement dans le code de l'environnement, la séquence ERC a été intégrée à la réglementation et appliquée de façon transversale aux procédures environnementales.

Elle conduit les porteurs de projet à rechercher et mettre en œuvre des mesures visant prioritairement à éviter les atteintes (effet négatif) à l'environnement et à la santé humaine, à réduire celles qui n'ont pu être suffisamment évitées et, si nécessaire et lorsque c'est possible, à compenser les effets notables qui n'ont pu être ni évités, ni suffisamment réduits (cf. Figure 1-3).

L'article L. 110-1 2 du code de l'environnement mentionne que le principe d'action préventive et de correction, par priorité à la source, des atteintes à l'environnement « *doit viser un objectif d'absence de perte nette de biodiversité, voire tendre vers un gain de biodiversité* ». Ce principe est repris à l'article L. 163-1 du code de l'environnement qui précise que *« Les mesures de compensation des atteintes à la biodiversité visent un objectif d'absence de perte nette, voire de gain de biodiversité ».*

1.2.1 Définition des mesures selon la séquence éviter/réduire/compenser les incidences

Les **mesures d'évitement** visent à supprimer des effets négatifs sur l'environnement ou la santé humaine. Elles correspondent soit à un choix d'aménagement ou d'implantation qui permet d'éviter la survenue de l'impact grâce à la préservation de zones à enjeux, soit à des modifications dans les choix technologiques ou les temporalités de réalisation permettant de supprimer totalement des impacts.

Les **mesures de réduction** sont définies dès lors que des impacts ne peuvent être évités totalement lors de la conception du projet. Elles visent à réduire les effets négatifs permanents ou temporaires du projet sur l'environnement et la santé humaine, pendant sa construction ou son fonctionnement. Elles peuvent agir en diminuant soit la durée de cet impact, soit son intensité, soit la combinaison de plusieurs de ces éléments.

Les **mesures de compensation** ont pour objet d'apporter une contrepartie, en fonction des objectifs réglementaires édictés pour chacun des facteurs, aux incidences résiduelles négatives notables du projet qui n'ont pu être ni évitées, ni suffisamment réduites. Elles sont mises en œuvre en priorité sur le site endommagé ou à proximité de celui-ci afin de garantir sa fonctionnalité de manière pérenne. Elles doivent permettre de conserver globalement et, si possible d'améliorer, la qualité environnementale des milieux.

Ces différentes mesures peuvent être également complétées par des **mesures d'accompagnement**. Ces mesures ne s'inscrivent pas dans un cadre réglementaire ou législatif obligatoire, mais sont prises par les maîtres d'ouvrage en complément des mesures d'évitement, de réduction et de compensation pour renforcer leur pertinence et leur efficacité.

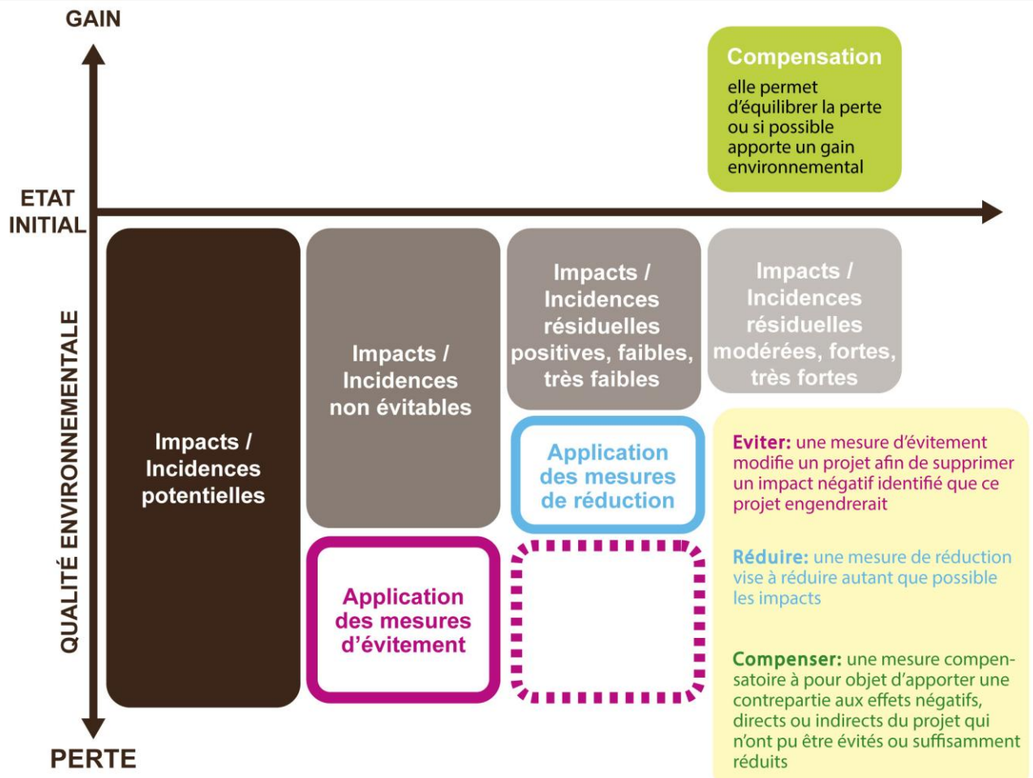


Figure 1-3 Démarche éviter réduire compenser

Les effets des mesures et les modalités de suivi associées sont précisés pour chaque mesure mise en place.

Afin de faciliter la lecture du présent volume, un tableau, présenté sous la forme du tableau 1-2, synthétise pour chaque mesure :

- **l'intitulé de la mesure avec son code selon le guide Thema du ministère de Transition Écologique et Solidaire de janvier 2018 intitulé « Évaluation environnementale - Guide d'aide à la définition des mesures ERC » (3) ;**
- **le ou les facteur(s) environnemental(aux)** en faveur duquel ou desquels la mesure est mise en œuvre (ex : biodiversité, eaux superficielles, bruit, etc.) ;
- **le ou les maître(s) d'ouvrage (MOAs)** responsable(s) de la mise en œuvre de la mesure ;
- l'**opération** concernée par la mise en œuvre de la mesure ;
- la ou les **phase(s)** temporelle(s) sur laquelle ou lesquelles porte la mesure (aménagements préalables (APR), construction initiale (CI), fonctionnement (F)).

Dans le cadre de l'étude d'impact, les mesures sont donc introduites sous la forme du tableau ci-dessous qu'on appelle bloc « mesure mère ». Ces mesures mères sont présentées dans les parties relatives au projet global Cigéo.

Tableau 1-2 Exemple de tableau de présentation d'une mesure ERC

Nature mesure – Code Thema : Intitulé de la mesure			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**

Dans le cadre du dossier d'autorisation environnementale d'une tranche de travaux, des études techniques approfondies sont réalisées et permettent d'affiner les mesures à mettre en œuvre pour la tranche de travaux considérée :

- soit la mesure mère s'applique en l'état ou ne nécessite que d'éventuels ajustements à la marge intégrés dans le bloc mesure mère ;
- soit la mesure mère est précisée en lien avec la tranche de travaux visée et déclinée en « mesure fille ».

La mesure fille se présente sous la forme d'une fiche qui correspond à une déclinaison adaptée des fiches proposées dans le guide Thema. Ces mesures filles sont disponibles dans le cadre du dossier d'autorisation environnemental de la phase de travaux concernés. L'existence de la fiche mesure fille est indiquée dans le cadre du chapitre thématique de la tranche de travaux concernée.

1.2.2 Démarche d'analyse selon la séquence ERC

L'analyse des incidences s'est attachée à faire ressortir la démarche « éviter, réduire, compenser », en articulant l'analyse des facteurs autour des étapes suivantes :

- **incidences potentielles** : cette première étape présente succinctement les types d'incidences génériques que peut engendrer le projet global Cigéo ; elles sont appréciées au regard des enjeux identifiés dans l'état initial, sur la base de l'avancement des études techniques du projet lorsque les éléments sont disponibles ou sur la base de retours d'expériences sur d'autres opérations similaires ; cette étape se conclut sur l'appréciation du caractère notable (incidences modérées à très fortes) ou non notable (incidences très faibles à faibles) de ces incidences génériques à l'échelle du projet global Cigéo.

Un tableau synthétise ces incidences potentielles, leur caractère notable (indiqué en orange) ou non notable (indiqué en bleu) ainsi que la ou les phase(s) de vie du projet concernée(s) lorsque l'incidence potentielle est notable. Un exemple est présenté au tableau 1-3.

Dans ces tableaux, les opérations de « Caractérisation et de surveillance environnementale » sont incluses dans chacune des opérations concernées.

Pour certaines thématiques, l'analyse des incidences potentielles du centre de stockage Cigéo peut être affinée par zone(s) ou installation(s). Dans ce cas, le niveau d'incidence est précisé pour chacune d'entre elles.

Tableau 1-3 Exemple de tableau de synthèse des incidences potentielles du projet global Cigéo

Incidences potentielles	Centre de stockage Cigéo	Alimentation électrique	Adduction d'eau	Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000	Déviation de la route départementale D60/960	Expédition et transport des colis de déchets radioactifs
Altération de la qualité des eaux superficielles	APR, CI, F					

En orange : incidence potentielle notable ; en bleu : incidence potentielle non notable ; en gris : opération non concernée par l'incidence évoquée
***APR** : aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement*

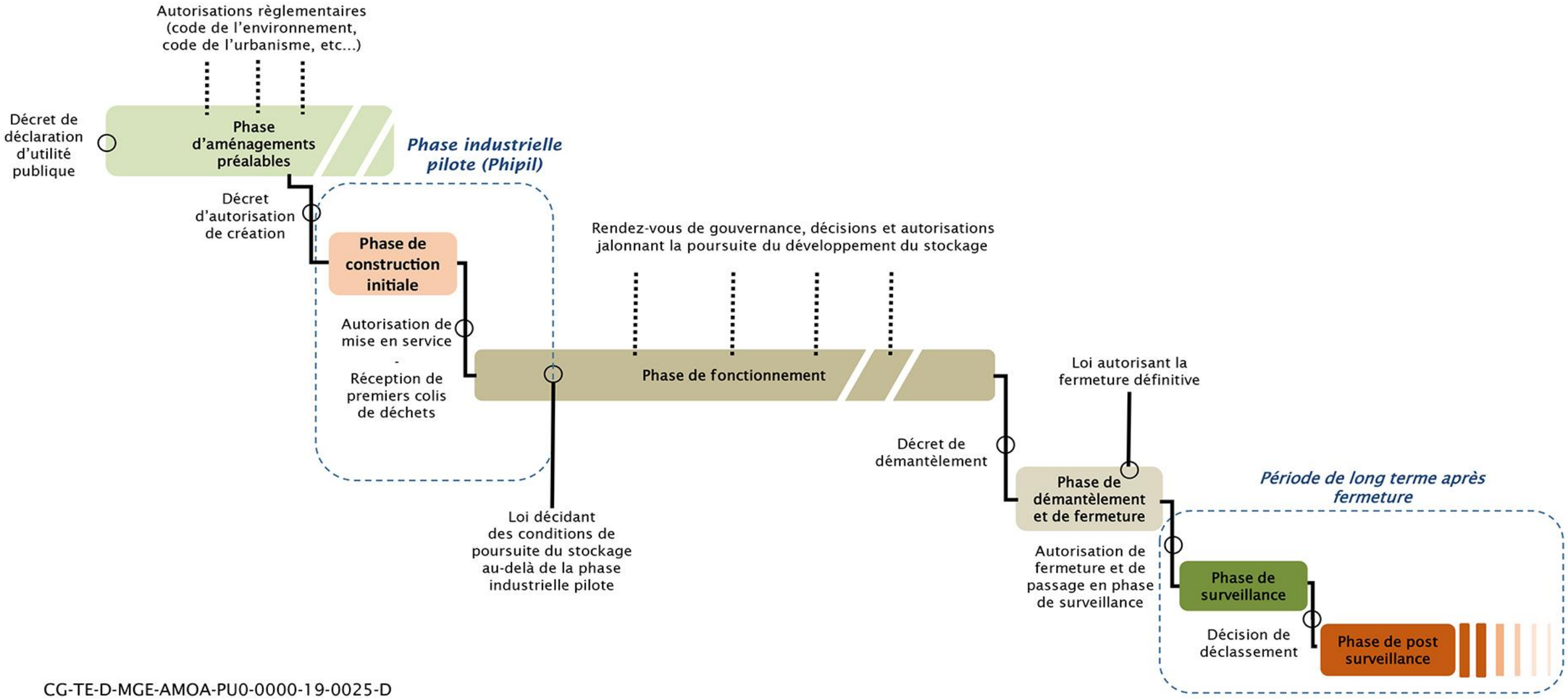
- **mesures d'évitement**, dont la définition est donnée au chapitre précédent ;
- **incidences après mesures d'évitement** : cette étape n'est pas systématique à l'ensemble des chapitres du volume IV. En effet, pour certaines thématiques il n'y a pas de mesure d'évitement. De plus, pour d'autres thématiques leur présentation peut être regroupée avec celle des mesures de réduction suivant la quantification possible de l'effet de ces mesures d'évitement. Dans le cas où cette évaluation est présente, elle précise les incidences du projet sur l'environnement après mise en place des mesures d'évitement, en fonction des éléments de projet disponibles ; ces éléments variant d'une opération à l'autre (cf. Volume II de l'étude d'impact), certaines incidences éventuelles seront confirmées et précisées dans les actualisations ultérieures de l'étude d'impact ;
- **mesures de réduction**, dont la définition est donnée au chapitre précédent ;
- **incidences résiduelles** : l'objectif de cette étape est d'identifier les incidences du projet global Cigéo qui n'ont pu être ni évitées, ni réduites ; elle précise le niveau d'incidence selon la grille d'évaluation présentée au chapitre 1.1.2 du présent volume, puis elle conclut sur les besoins (ou non) de mesures de compensation. Ce chapitre se termine par un encart de conclusion dont la couleur de fond correspond au niveau des incidences résiduelles selon le tableau 1-1 ;
- **mesures de compensation** : cette étape décrit le dimensionnement des mesures de compensation en fonction des incidences résiduelles précédemment détaillées et en fonction des objectifs réglementaires édictés pour chacun des facteurs. Les modalités détaillées de réalisation de ces mesures, dont la finalité est l'absence d'incidence notable du projet global Cigéo sur l'ensemble des facteurs de l'environnement et notamment l'absence de perte nette de biodiversité, seront présentées dans les dossiers spécifiques d'autorisations de travaux.

L'analyse des incidences se conclut, pour chaque thématique, par un tableau de synthèse reprenant, pour chaque incidence potentielle, les mesures mises en place, avec précision du type de mesure (E, R, C) et de la phase (APR, CI, F), de l'effet attendu, des modalités de suivi et des opérations et MOAs concernés (cf. Tableau 1-3).

Tableau 1-4 Exemple de tableau de synthèse des mesures mises en œuvre dans le cadre du projet global Cigéo

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effets attendus de la mesure	Modalités de suivi	MOA	Opération
	Niveau d'incidences potentielles : Notable						
	Niveau d'incidences résiduelles : Faible						

Le chapitre 19 du présent volume présente un bilan global pour l'ensemble du projet et des thématiques de la nature et des dispositions proposées pour la surveillance de l'environnement des installations et opérations du projet global Cigéo, ainsi que des modalités de suivi des mesures environnementales pour chacune des grandes phases du projet global (aménagements préalables, construction initiale et fonctionnement).



CG-TE-D-MGE-AMOA-PU0-0000-19-0025-D

Figure 1-4 Principales phases du projet

2

Atmosphère – Incidences et mesures

2.1	Conditions météorologiques locales	14
2.2	Vulnérabilité au changement climatique	20
2.3	Énergie et gaz à effet de serre (GES)	24
2.4	Qualité de l'air	33
2.5	Compatibilité du projet global Cigéo avec les documents de planification relatifs à l'air, l'énergie et le climat	67

L'objet du présent chapitre est de présenter les incidences sur l'atmosphère. Celles-ci concernent les conditions météorologiques locales, la vulnérabilité aux risques météorologiques, l'énergie et les gaz à effet de serre et la qualité de l'air. Les incidences sur la qualité de l'air concernent les émissions conventionnelles (ou chimiques) et les émissions radioactives. Les incidences sur la santé humaine liées à la qualité de l'air sont détaillées dans le volume VI de la présente étude d'impact. Toutefois, une synthèse des incidences sur la santé humaine est présentée aux chapitres 2.4.1.5 et 2.4.2.5 du présent volume.

2.1 Conditions météorologiques locales

2.1.1 Incidences potentielles

Le projet global Cigéo peut avoir des incidences sur les conditions météorologiques locales, notamment à travers la modification de l'occupation du sol et des écosystèmes qui ont une influence sur l'humidité (rejet de vapeur…), les températures (émissions de chaleur), les vents (obstacle à la circulation du vent), et l'ensoleillement local.

2.1.1.1 Modification de l'hygrométrie

L'air rejeté par les chaudières et le système de ventilation présente des caractéristiques hygrométriques différentes de l'air extérieur. Cette différence se matérialise par un panache de vapeur d'eau en sortie des émissaires. Celui-ci est plus visible en hiver qu'en été (cf. Figure 2-1). En effet, ce panache est constitué de gouttelettes d'eau qui se forment par condensation lorsque l'on abaisse la température de l'air environnant. La condensation est aussi favorisée par la présence d'éléments en suspension dans l'air comme les poussières ou le pollen. Ce panache se dissipe en même temps que la chaleur.

De même, à proximité des bassins et des aires de lavage, les caractéristiques hygrométriques sont différentes de l'air ambiant. L'augmentation de l'hygrométrie se matérialise également par de la vapeur d'eau à proximité des bassins, voire du brouillard. Ce phénomène est très localisé et se dissipe en même temps que la chaleur.

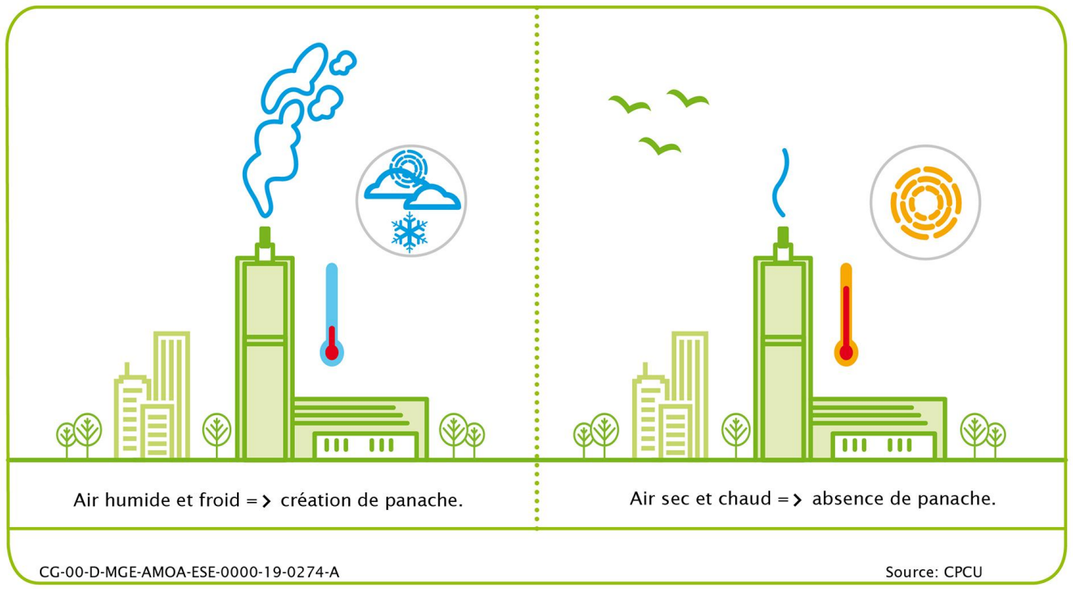


Figure 2-1 Variation du panache de fumée selon les conditions météorologiques

En phases d'aménagements préalables et de construction initiale, les principales sources d'humidité sont les bassins de gestion des eaux et les aires de lavage. Les modifications hygrométriques ne sont pas significatives considérant que ces installations sont cantonnées au sein de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo.

En phase de fonctionnement, les principales sources d'humidité sont les bassins de gestion des eaux et les aires de lavage, les chaudières et le système de ventilation qui sont situées sur le centre de stockage. Les rejets des chaudières présentent des températures de rejets élevées : jusqu'à 190 °C. À cette température, le rejet génère un panache de vapeur d'eau qui s'élève rapidement. Ces installations étant localisées à l'intérieur du site et à plus de 100 mètres des limites d'emprises, aucune incidence sur l'hygrométrie ambiante n'est perceptible.

Les autres opérations du projet global Cigéo (alimentation électrique, adduction d'eau, mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000, déviation de la route départementale D60/960, et expédition de colis) ne sont pas de nature à modifier l'hygrométrie à leurs abords.

Le projet global Cigéo n'a pas d'incidence potentielle notable sur l'hygrométrie.

2.1.1.2 Phénomène d'îlot de chaleur

Le phénomène d'îlot de chaleur peut être lié :

- à l'artificialisation des sols ;
- aux rejets de chaleur des engins de chantier et des infrastructures de transport ;
- aux rejets de chaleur des chaudières et des systèmes de ventilation ;
- aux fonctionnements des installations électriques.

Selon la minéralité, la couleur et la densité du matériau employé, le bâti ou le sol absorbe ou réfléchit l'énergie solaire. Au cours de la nuit, cette énergie est ensuite restituée par radiation sous forme de chaleur qui peut conduire à l'apparition du phénomène d'ilot de chaleur (cf. Figure 2-2).

2.1.1.2.1 Artificialisation des sols

L'artificialisation d'environ 587 ha pour le projet global Cigéo implique potentiellement une élévation locale de la température par rapport aux zones agricoles ou forestières existantes.

Pendant les aménagements préalables, les terrains des zones puits et descenderie, de la liaison intersites, du poste de transformation électrique et ses liaisons souterraines, de la déviation de la route départementale D60/960 sont temporairement mis à nu, alors qu'ils étaient principalement couverts de cultures ou de bois. Ces terres à nu ont un albédo supérieur aux terrains végétalisés antérieurs.

Au maximum 10 ha sont décapés pour la déviation de la route départementale D60/960, ainsi que pour le poste de transformation 400/90 kV. Les travaux au pied des pylônes de la ligne THT ne nécessitent la mise à nu que de quelques mètres carrés pour chacun des pylônes concernés. De plus, quelques ares seraient décapés et mis à nu si des rétablissements routiers étaient rendus nécessaires par la fermeture de passages à niveau le long de la ligne ferroviaire 027000. Ces surfaces seraient très faibles au regard des emprises du centre de stockage Cigéo. Les adductions d'eau sont mises en place sous des infrastructures existantes ou nouvelles.

Selon la morphologie du territoire, les températures élevées de surface n'ont pas le même effet : « *Dans la campagne, il peut y avoir une concentration de surfaces chaudes qui n'aura pas beaucoup d'impact car l'air s'échappera ou se rafraîchira rapidement grâce à la végétation alentour, tandis qu'en ville, la même concentration de surfaces chaudes va réchauffer l'air et les bâtiments de manière durable* » (4), affirme Marjorie Musy, chercheur au centre de recherche Architectures Urbanités (Créneau) et directrice adjointe de l'Institut de recherche en sciences et techniques de la ville (IRSTV).

Compte tenu de l'étendue des terrains du projet global Cigéo et situés au sein d'un environnement rural fortement végétalisé, cet îlot de chaleur peut être considéré comme minime en comparaison avec les phénomènes d'îlot de chaleur urbain (ICU) observés au cœur des grandes agglomérations. Par exemple à Paris, une élévation de température allant jusqu'à 5 °C est relevée entre le centre de l'agglomération et les territoires agricoles en périphérie.

En phases de construction initiale et de fonctionnement, les reliefs réduits, l'environnement rural et l'espacement entre les bâtiments facilitent la dispersion rapide de cette chaleur. La dissipation de la chaleur est renforcée par les bassins créés dans le centre de stockage et les grandes étendues végétalisées mises en place lors de la réalisation des aménagements paysagers. L'augmentation du rayonnement solaire sur les bâtiments du centre de stockage est vite dissipée grâce à la faible densité du bâti et à la forte végétalisation des alentours.

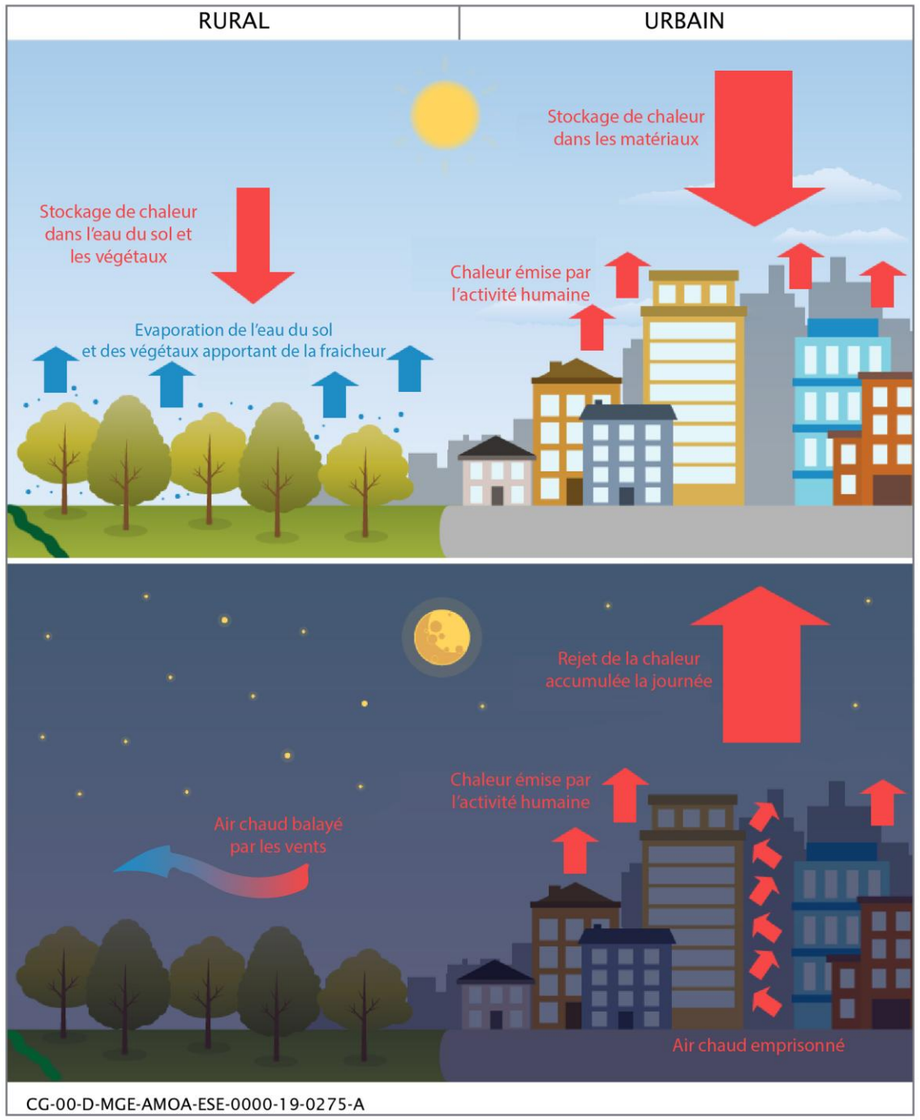


Figure 2-2 Représentation schématique du phénomène d'îlot de chaleur

L'artificialisation des sols du projet global Cigéo n'a pas d'incidence potentielle notable sur les émissions de chaleur.

2.1.1.2.2 Rejets de chaleur des engins de chantier et des infrastructures de transport

Les engins de travaux et les installations de chantier ne génèrent pas suffisamment de chaleur pour modifier les conditions locales de température.

La circulation de trains sur l'ITE et sur la ligne ferroviaire 027000 (six passages par jour pour le fret du centre de stockage Cigéo avec une capacité maximum de la ligne 027000 de huit passages par jour, cf. Chapitre 12 du présent volume), ainsi que la circulation de véhicules sur la liaison intersites et la déviation de la route départementale D60/960 sont trop limitées pour constituer des sources de chaleur significatives.

Les rejets de chaleur des engins de chantier et infrastructures de transport du projet global Cigéo n'ont pas d'incidence notable sur les émissions de chaleur.

2.1.1.2.3 Rejets de chaleur des chaudières et des systèmes de ventilation

Les activités de construction et d'exploitation au sein du centre de stockage Cigéo sont susceptibles d'entraîner des incidences en surface. Les sources de dégagements thermiques sont les chaudières, les engins et les équipements en fonctionnement, et les colis de déchets exothermiques stockés, principalement les déchets HA. L'élévation de la température issue des systèmes de ventilation est imperceptible et non significative au regard des variations climatiques qui déterminent la température à la surface du sol. Les rejets en sortie de ventilation présentent une température maximale de 30 °C. Cette température est minime au regard des sorties de chaudières.

Les chaudières présentent des températures de rejets élevées : jusqu'à 190 °C. À cette température, le rejet génère un panache de vapeur d'eau qui s'élève rapidement car celui-ci est plus léger que l'air. Il se dilue et se refroidit par entraînement d'air.

Les gaz chauds sont canalisés par les cheminées à 18 mètres au-dessus du sol ce qui permet de disperser rapidement la chaleur bien au-dessus des activités humaines. Selon les modélisations réalisées avec le logiciel PHAST 7.22 de DNV la température descend à 20 °C à 100 mètres de distance au plus des cheminées et à une hauteur de 20 mètres au-dessus du sol. Ces chaudières étant localisées à l'intérieur du site et à plus de 100 mètres des limites du centre de stockage Cigéo, aucune incidence sur la température ambiante n'est perceptible.

Les rejets de chaleur des chaudières et des systèmes de ventilation du projet global Cigéo n'ont pas d'incidence potentielle notable sur les émissions de chaleur.

2.1.1.2.4 Fonctionnement des installations électriques

Les installations électriques de RTE (lignes aériennes, liaisons souterraines et postes de transformation et de livraison) et de l'Andra en fonctionnement dès la phase de construction initiale génèrent de la chaleur.

Pour les installations en surface la variation de température est faible et s'inscrit dans les gammes de variation naturelle. Sa dispersion est très rapide dans le milieu environnant et l'effet est donc très localisé.

Pour les câbles souterrains, la quantité de chaleur générée est extrêmement réduite. La chaleur produite traverse les différentes couches du câble, puis est évacuée dans les sols par conduction. Elle est immédiatement dissipée sans effet perceptible, même dans le cas de liaisons électriques souterraines.

Le fonctionnement des installations électriques du projet global Cigéo n'a pas d'incidence potentielle notable sur les émissions de chaleur.

2.1.1.3 Modification des vents

L'étendue de la zone de turbulence du vent autour d'un obstacle correspond à environ trois fois la hauteur de l'obstacle, la turbulence étant plus forte derrière l'obstacle que devant celui-ci.

Ainsi, pour un bâtiment de 40 mètres de haut, des turbulences dans l'écoulement du vent sont observées sur 120 mètres autour. Les grues, beaucoup plus hautes, laissent passer l'air donc elles ont moins d'effet.

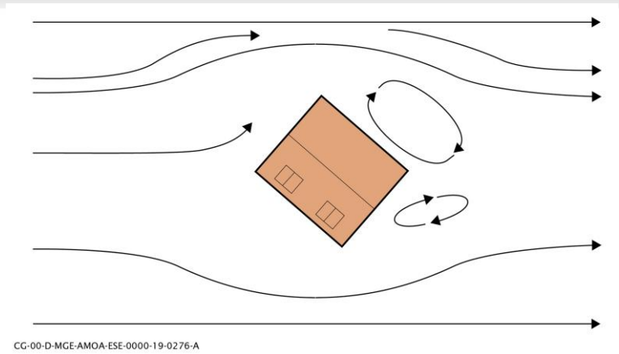


Figure 2-3 Obstacle à l'écoulement du vent, représentation du phénomène de turbulence

En phase d'aménagements préalables, la mise à nu des sols du centre de stockage Cigéo réduit la rugosité des terrains ce qui est susceptible d'augmenter légèrement les vents les plus bas. Aucune construction haute n'émerge lors de cette phase. Les modifications locales de vent sont donc négligeables.

En phase de construction initiale, les bâtiments commencent à émerger. Plusieurs grues sont aussi installées sur le site. Les modifications locales de vent restent donc négligeables.

En phase de fonctionnement, les bâtiments les plus élevés du centre de stockage Cigéo font une vingtaine de mètres de haut. Les verses sur la zone puits atteignent également une hauteur maximale de 20 mètres. Des éléments plus ponctuels comme les chevalements présents sur la zone puits peuvent atteindre 60 mètres de haut. Selon le *ratio* indiqué précédemment, des turbulences autour des chevalements apparaissent sur une zone maximale de 180 mètres. La distance entre ces bâtiments et les limites foncières du centre de stockage Cigéo est supérieures à 180 mètres : les turbulences restent donc cantonnées au sein des emprises du centre de stockage. Les modifications du vent créées par ces éléments ponctuels ne sont pas significatives.

Les boisements plantés au sud et à l'ouest de la zone descenderie (cf. Chapitre 14 du présent volume) atteindraient à maturité une hauteur maximale de 20 mètres. Les turbulences de vent qu'elles engendrent, s'étendraient donc jusqu'à 60 mètres principalement vers le nord-est et l'ouest grâce aux vents dominants. Ainsi, l'extrémité est du hameau de Saudron pourrait connaître de très faibles modifications des vents qui les balayent.

Les autres installations du projet global Cigéo (alimentation électrique, adduction d'eau, mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000, déviation de la route départementale D60/960, expédition de colis) ne sont pas assez hautes ou trop ponctuelles pour modifier les vents à leurs abords.

Le projet global Cigéo n'a pas d'incidence potentielle notable sur la modification des vents.

2.1.1.4 Modification de l'ensoleillement

Un nouveau bâtiment ou de nouvelles plantations créent de nouvelles ombres qui réduisent l'ensoleillement de leur voisinage (cf. Figure 2-4). La longueur de l'ombre d'un objet varie selon :

- la position géographique des lieux qui induit un angle spécifique du soleil par rapport à l'horizon ;
- le moment de l'année qui modifie l'angle du soleil par rapport à l'horizon en fonction de la course annuelle de la terre autour de cet astre : c'est en hiver que les ombrent s'allongent le plus ;
- le moment de la journée qui modifie l'angle du soleil par rapport à l'horizon en fonction de la rotation quotidienne de la terre : c'est en début ou fin de journée que les ombrent s'allonge le plus ;
- la hauteur de l'objet.

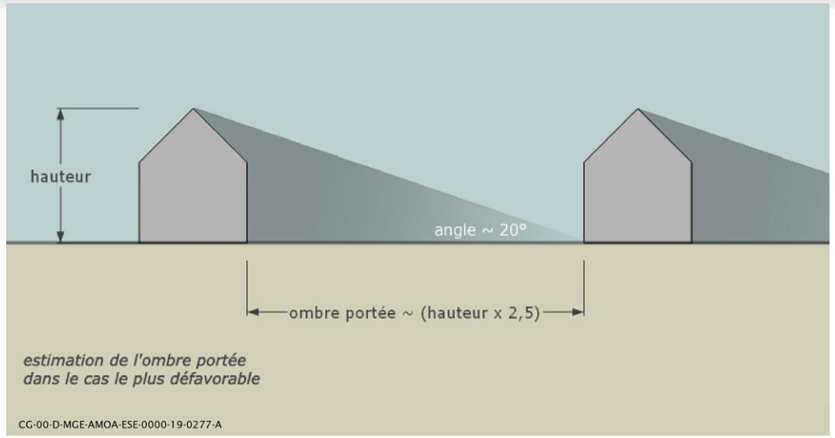


Figure 2-4 Représentation schématique du phénomène d'ombre portée

Sous les latitudes de l'est de la France, les ombres s'étendent toujours vers le nord et d'ouest en est au fur et à mesure de la journée et l'angle le plus défavorable est estimé à 20°. Ainsi, pour le centre de stockage Cigéo, l'ombre d'un bâtiment ou d'un arbre de 40 mètres de haut s'étend au maximum sur 120 mètres vers le nord-est ou le nord-ouest.

En phase d'aménagements préalables, aucune construction haute n'a émergé sur le projet global Cigéo et les 136 ha du bois Lejuc sont défrichés, dont les arbres les plus hauts mesurent 30 mètres de haut. L'ensoleillement est donc augmenté dans un secteur maximum de 90 mètres au nord-ouest de ce bois. Cette zone est couverte de cultures et ne compte aucun bâti.

En phase de construction initiale, les bâtiments commencent à émerger. Des dépôts de terre atteignent une vingtaine de mètres, ils projettent des ombres seulement au sein des emprises du centre de stockage Cigéo. Ces dépôts sont temporaires.

En phase de fonctionnement, les bâtiments les plus hauts du centre de stockage Cigéo s'élèvent à une vingtaine de mètres de haut. Des éléments plus ponctuels comme les chevalements peuvent atteindre 60 mètres de haut. Un masque boisé est installé en périphérie sud et ouest de la zone descenderie.

Selon le *ratio* indiqué précédemment, les ombres sont projetées vers le nord d'est en ouest sur une zone maximale de 180 mètres. La distance entre ces bâtiments et les limites foncières du centre de stockage Cigéo est supérieures à 180 mètres. Ainsi, l'extrémité est du hameau de Saudron connaît des effets ponctuels très faibles d'ombre portée : quelques minutes au lever du soleil, les jours d'hivers sans nuage.

Les autres opérations du projet global Cigéo (alimentation électrique, adduction d'eau, mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000, déviation de la route départementale D60/960, expédition de colis) ne sont pas assez hautes ou trop ponctuelles pour modifier l'ensoleillement à leurs abords.

Le projet global Cigéo n'a pas d'incidence potentielle notable sur l'ensoleillement.

2.1.1.5 Synthèse des incidences potentielles sur les conditions météorologiques

Le tableau 2-1 synthétise les incidences potentielles du projet global Cigéo sur les conditions météorologiques.

Du fait de la faible densité des installations dans un territoire végétalisé et de leur hauteur modérée, le projet global Cigéo ne présente aucune incidence potentielle notable sur les conditions météorologiques locales.

Tableau 2-1 Incidences potentielles du projet global Cigéo sur les conditions météorologiques

Incidences potentielles	Centre de stockage Cigéo	Alimentation électrique	Adduction d'eau	Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000	Déviation de la route départementale D60/960	Expédition et transport des colis de déchets radioactifs
Modification de l'hygrométrie						
Phénomène d'îlot de chaleur						
Modification des vents						
Modification de l'ensoleillement						

En orange : incidence potentielle notable ; en bleu : incidence potentielle non notable
***APR** : aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement*

2.1.2 Mesures d'évitement et de réduction

Le projet global Cigéo ne présente d'incidence notable sur les conditions météorologiques locales à aucune des phases. Aucune mesure d'évitement spécifique à ce facteur n'est mise en œuvre. Plusieurs mesures mises en place pour d'autres facteurs (sols, eaux paysage…), dès les aménagements préalables, ont l'avantage de renforcer le maintien des conditions météorologiques locales.

2.1.2.1 Mise en place de systèmes de climatisation permettant de récupérer une partie de l'énergie

Mesure de réduction – R2.2z : mise en place de systèmes de climatisation permettant de récupérer une partie de l'énergie

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Phase(s)
Climat	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, ZIOS)	CI, F

Le système de climatisation composé d'échangeurs à double flux sur les émissaires permet de récupérer une partie de l'énergie et de limiter la différence de température entre l'air intérieur rejeté et l'air extérieur.

Modalité de suivi

Contrôles d'étanchéité des équipements frigorifiques ou climatiques : Lorsque cela est requis par la réglementation, notamment celle relative aux ICPE et aux émissions de gaz à effet de serre, des contrôles d'étanchéité des équipements frigorifiques ou climatiques sont réalisés. Les résultats des contrôles effectués sont consignés sur un registre éventuellement informatisé et tenu à la disposition de l'administration.

2.1.2.2 Optimisation des surfaces minéralisées limitant le phénomène d'îlot de chaleur

Mesure de réduction – R.1.2.a : optimisation des surfaces minéralisées limitant le phénomène d'îlot de chaleur

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Phase(s)
Climat	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, LIS, ITE)	CI, F

Les surfaces minéralisées au sein de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo ont été optimisées lors de la conception afin de limiter le phénomène d'îlot de chaleur. Ces surfaces minéralisées représentent 116 hectares sur les 783 hectares de surfaces d'intervention potentielle.

Modalité de suivi

Un suivi du respect de la répartition de l'occupation du sol et notamment des emprises minéralisées limitées est réalisé tout au long du projet, dès la conception.

2.1.2.3 Végétalisation importante des espaces extérieurs limitant le phénomène d'îlots de chaleur

Mesure de réduction – R.2.2.k : végétalisation importante des espaces extérieurs limitant le phénomène d'îlots de chaleur

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Phase(s)
Climat	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP)	CI, F

La végétalisation des espaces extérieurs permet de limiter le phénomène d'îlot de chaleur. Par ailleurs, cette végétalisation favorise le maintien de la biodiversité et participe à la gestion alternative des eaux pluviales.

Modalité de suivi

Un suivi du respect de la répartition de l'occupation du sol et notamment de la part d'emprises végétalisées est réalisé tout au long du projet, dès la conception.

Suivi du bon entretien du site : Un plan de maintien du site dans un bon état de propreté est mis en place (peinture, propreté des espaces extérieurs…) ainsi que de maintien de l'engazonnement et de la végétation, notamment pour satisfaire à l'intégration paysagère.

2.1.2.4 Création de toitures végétalisées limitant le phénomène d'îlot de chaleur

Mesure de réduction – R.2.2.k : création de toitures végétalisées limitant le phénomène d'îlot de chaleur

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Phase(s)
Climat	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP)	CI, F

La création de toitures végétalisées permet de limiter le phénomène d'îlot de chaleur car cela influence positivement l'albédo (indice de réfléchissement d'une surface). Par ailleurs, ces toitures végétalisées favorisent le maintien de la biodiversité et participent à la gestion alternative des eaux pluviales.

Modalité de suivi

En phase de conception, l'intégration de toitures végétalisées au projet est un objectif intangible, qui est inscrit à toutes les phases d'études.

2.1.2.5 Création de bassins de rétention des eaux limitant le phénomène d'îlot de chaleur

Mesure de réduction – R2.2q : création de bassins de rétention des eaux limitant le phénomène d'îlot de chaleur

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Phase(s)
Climat	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP)	APR, CI, F

Les bassins de rétention des eaux permettent de limiter le phénomène d'îlot de chaleur par évaporation en constituant des gouttelettes d'eau qui se forment par condensation. Ce phénomène est toutefois très localisé.

Modalité de suivi

L'intégration des bassins de rétention des eaux est suivie pour les besoins du projet de centre de stockage Cigéo, et ce à toutes les phases de conception. Le détail des modalités de suivi relatives aux bassins de rétention des eaux est présenté au chapitre 5 du présent volume.

2.1.2.6 Intégration de matériaux alternatifs aux enrobés sombres limitant le phénomène d'îlot de chaleur

Mesure de réduction – R.2.2.n : intégration de matériaux alternatifs aux enrobés sombres limitant le phénomène d'îlot de chaleur

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Phase(s)
Climat	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, LIS)	APR, CI, F

Les matériaux alternatifs à l'enrobé sombre qui présente un albédo élevé pour les cheminements et les stationnements permettent de limiter le phénomène d'îlot de chaleur urbain. L'Andra s'appuie sur les recherches menées par les fabricants de matériaux qui portent actuellement sur des enrobés clairs, du béton désactivé, de la pierre naturelle ou de la grave calcaire.

Modalité de suivi

L'intégration de matériaux alternatifs aux enrobés sombres est un objectif qui est inscrit à toutes les phases de conception.

2.1.3 Incidences résiduelles

Pendant la phase d'aménagements préalables les incidences résiduelles sur les conditions météorologiques locales du projet global Cigéo sont très faibles :

- les engins de travaux et les installations de chantier ne génèrent pas suffisamment de chaleur pour modifier de façon perceptible la température et l'hygrométrie locale ;
- l'augmentation du rayonnement solaire sur les terrains à nu est vite dissipée grâce à la faible densité du bâti et la forte végétalisation des alentours ;
- les installations de chantiers ne sont pas de nature à perturber la circulation des vents locaux ;
- aucune construction haute n'a émergé sur le projet global Cigéo. Au niveau du bois Lejuc, l'ensoleillement est augmenté dans un secteur maximum de 90 mètres au nord-ouest de ce bois. Cette zone est couverte de cultures et ne compte aucun bâti.

Le projet global Cigéo a des incidences résiduelles très faibles sur les conditions météorologiques locales en phase d'aménagements préalables.

Aucune mesure de compensation n'est nécessaire.

En phase de construction initiale, les incidences résiduelles sur les conditions météorologiques locales du projet global Cigéo sont très faibles. En plus des incidences déjà identifiées en phase d'aménagements préalables s'ajoutent :

- la circulation de trains sur l'ITE et sur la ligne ferroviaire 027000, ainsi que la circulation de véhicules sur la liaison intersites et la déviation de la route départementale D60/960 qui sont trop limitées pour constituer des sources de chaleur significatives ;
- la présence des installations électriques dont la chaleur émise n'est pas significative ;
- l'émergence progressive des bâtiments qui ne modifient les conditions de circulation des vents et d'ensoleillement qu'au sein des emprises du centre de stockage.

Le projet global Cigéo a des incidences résiduelles très faibles sur les conditions météorologiques locales en phase de construction initiale.

Aucune mesure de compensation n'est nécessaire.

En phase de fonctionnement, les incidences résiduelles sur les conditions météorologiques locales du projet global Cigéo sont faibles :

- les chaudières rejettent des fumées à haute température qui redescendent à des valeurs inférieures ou égales à 20 °C dans les 100 mètres autour de la cheminée. L'émission de chaleur reste donc cantonnée au centre de stockage Cigéo. De plus, cette température de rejets est réutilisée et abaissée grâce à l'installation de climatisations à double flux. Ces gaz modifient aussi les conditions hygrométriques dans leur panache. La condensation de l'eau se dissipe en même temps que la chaleur ;
- la chaleur émise par les installations électriques n'est pas significative ;
- l'élévation de la température à la surface du sol liée au dégagement exothermique des colis de déchets HA stockés est imperceptible et non significative ;
- les engins de travaux et les installations de chantier ne génèrent pas suffisamment de chaleur pour modifier de façon perceptible la température et l'hygrométrie locale pendant les phases de jouvence ;
- les bassins de gestion des eaux, les nombreuses plantations (même sur les toitures), le choix des matériaux pour les revêtements de sols limitent le phénomène d'îlot de chaleur qui est déjà largement enrayé par l'environnement rural végétalisé au sein duquel s'implante le projet global Cigéo ;
- les bâtiments d'une hauteur maximale d'une vingtaine de mètres ne modifient pas les conditions de circulation des vents et les conditions d'ensoleillement en dehors des emprises du projet global Cigéo. Les boisements réalisés sur les merlons en bordure du centre de stockage sont susceptibles d'augmenter légèrement les périodes d'ombre et les perturbations de vent sur une zone maximale de 150 mètres de large autour des emprises. L'extrémité est du hameau de Saudron et l'hôtel du Bindeuil est concernée ;
- la circulation de trains sur l'ITE et sur la ligne ferroviaire 027000, ainsi que la circulation de véhicules sur la liaison intersites et la déviation de la route départementale D60/960 sont trop limitées pour constituer des sources de chaleur significatives.

Le projet global Cigéo a des incidences résiduelles très faibles sur les conditions météorologiques locales en phase de fonctionnement.

Aucune mesure de compensation n'est nécessaire

.

2.1.4 Synthèse des incidences et mesures sur les conditions météorologiques locales

Le tableau 2-2 synthétise les mesures mises en œuvre afin de limiter les impacts sur les conditions météorologiques locales.

Tableau 2-2 Synthèse des mesures mises en œuvre pour limiter l'impact sur les conditions météorologiques locales dans le cadre du projet global Cigéo

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effet attendu de la mesure	Modalités de suivi	MOA	Opération
Modification des conditions météorologiques locales	**Modification des conditions météorologiques locales : Niveau d'incidences potentielles : Non notable**						
	R2.2z Mise en place de systèmes de climatisation permettant de récupérer une partie de l'énergie	R	CI, F	Baisse des températures de l'air rejeté	Contrôles d'étanchéité des équipements frigorifiques ou climatiques	Andra	Centre de stockage Cigéo
	R1.2a Optimisation des surfaces minéralisées limitant le phénomène d'îlot de chaleur	R	CI, F	Réduction du phénomène d'îlot de chaleur	Suivi de la répartition de l'occupation du sol dès la conception	Andra	Centre de stockage Cigéo
	R2.2k Végétalisation importante des espaces extérieurs limitant le phénomène d'îlots de chaleur	R	CI, F	Réduction du phénomène d'îlot de chaleur	Suivi de la répartition de l'occupation du sol dès la conception Suivi du bon entretien du site	Andra	Centre de stockage Cigéo
	R2.2k Création de toitures végétalisées limitant le phénomène d'îlot de chaleur	R	CI, F	Réduction du phénomène d'îlot de chaleur	Suivi de la prise en compte dans la conception	Andra	Centre de stockage Cigéo
	R2.2q Création de bassins de rétention des eaux limitant le phénomène d'îlot de chaleur	R	APR, CI, F	Réduction du phénomène d'îlot de chaleur	Suivi de l'intégration des bassins de rétention des eaux dans le projet de centre de stockage Cigéo à toutes les phases de conception	Andra	Centre de stockage Cigéo
	R2.2n Intégration de matériaux alternatifs aux enrobés sombres limitant le phénomène d'îlot de chaleur	R	APR, CI, F	Réduction du phénomène d'îlot de chaleur	Suivi de la prise en compte dans la conception	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Modification des conditions météorologiques locales : Niveau d'incidences résiduelles : Très faible						

*Type de mesure : **E :** évitement ; **R :** réduction ; **C :** compensation ; **A** : accompagnement.*
*Phase : **APR** : aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement.*

Le projet global Cigéo, qui vient s'insérer dans un environnement rural peu urbanisé, peut avoir des incidences sur les conditions météorologiques locales à travers la modification des températures (émissions de chaleur), des vents (obstacle à la circulation du vent), de l'humidité (rejet de vapeur…) et de l'ensoleillement local.

Plusieurs mesures mises en place dès la phase d'aménagements préalables pour d'autres facteurs environnementaux ont l'avantage de favoriser le maintien des conditions météorologiques locales. Il s'agit par exemple des mesures liées à la gestion des eaux ou au maintien de la biodiversité qui réduisent aussi le phénomène d'îlot de chaleur (limitation des surfaces imperméabilisées, végétalisation des espaces extérieurs et des toitures, création de bassins de rétention, étude de possibilité de recours aux matériaux alternatifs).

Ainsi, le projet global Cigéo ne présente pas d'incidence résiduelle sur les conditions météorologiques, à aucune des phases (aménagements préalables, construction initiale, fonctionnement). Aucun effet notable sur l'hygrométrie, la température, la circulation du vent et l'ensoleillement n'est attendu.

Le projet global Cigéo a une incidence très faible sur les conditions météorologiques locales.

2.2 Vulnérabilité au changement climatique

2.2.1 Incidences potentielles

Les effets du changement climatique peuvent aggraver les risques météorologiques.

Les risques météorologiques majeurs répertoriés identifiés dans les dossiers départementaux des risques majeurs de la Meuse (2019) et de la Haute-Marne (2017) (5, 6) sont décrits au chapitre 2 du volume III de la présente étude d'impact. Ces risques sont rappelés ci-dessous :

- les tempêtes et tornades (cf. Chapitre 2.3.3.2 du volume III de la présente étude d'impact) ;
- les fortes pluies susceptibles de provoquer des inondations (cf. Chapitre 2.3.1.3 et chapitre 5.4.6 du volume III de la présente étude d'impact) ;
- les périodes de grands froids (avec notamment chutes de neige et verglas) (cf. Chapitre 2.3.2.2 du volume III de la présente étude d'impact) ;
- les canicules (cf. Chapitre 2.3.2.2 du volume III de la présente étude d'impact).

L'analyse de la vulnérabilité du projet global Cigéo aux risques météorologiques majeurs est réalisée au chapitre 11 du volume IV de la présente étude d'impact.

Les conséquences potentielles du changement climatique sur les installations du centre de stockage Cigéo concernent trois facteurs :

- la sûreté :
  - ✓ les épisodes caniculaires peuvent engendrer des dysfonctionnements des installations ;
  - ✓ les sécheresses augmentent le risque d'incendie et peuvent modifier la structure du sol et donc les risques de mouvement de terrain ;
  - ✓ les précipitations extrêmes peuvent augmenter le risque d'inondation.
- l'eau :
  - ✓ les épisodes caniculaires peuvent engendrer des modifications de la qualité des eaux et notamment des cours d'eau récepteurs des rejets d'eau traités du centre de stockage Cigéo, et engendrer des restrictions d'usages ;
  - ✓ les sécheresses augmentent les périodes d'assec au niveau des cours d'eau récepteurs des rejets d'eau traités du centre de stockage Cigéo ;
  - ✓ les précipitations extrêmes augmentent le recueil des eaux dans les bassins, avant leur rejet dans les cours d'eau (Orge, Bureau et Ormançon) et peuvent augmenter le risque d'inondation en aval du centre de stockage Cigéo.
- la biodiversité :
  - ✓ les épisodes caniculaires et de sécheresse augmentent les risques d'incendie ou encore la perte de biodiversité.

Le tableau 2-3 synthétise les potentielles vulnérabilités du projet global Cigéo au changement climatique.

La vulnérabilité au changement climatique est considérée comme notable pour le centre de stockage Cigéo, l'opération d'alimentation électrique, adduction d'eau, la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et l'opération d'expédition et de transport des colis de déchets. Ces types d'installations sont sensibles aux risques précédemment listés.

La déviation de la route départementale D60/960 n'est pas vulnérable du fait de sa topographie.

Tableau 2-3 Incidences potentielles du projet global Cigéo au changement climatique

Incidences potentielles	Centre de stockage Cigéo	Alimentation électrique	Adduction d'eau	Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000	Déviation de la route départe-mentale D60/960	Expédition et transport des colis de déchets radioactifs
Vulnérabilité au changement climatique	APR, CI, F	APR, CI, F	APR, CI, F	APR, CI, F		CI, F

En orange : incidence potentielle notable ; en bleu : incidence potentielle non notable
***APR** : aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement*

2.2.2 Mesures d'évitement et de réduction

Aucune mesure d'évitement ne peut être mise en œuvre face à la vulnérabilité au changement climatique. Plusieurs mesures de réduction sont proposées afin de limiter ces vulnérabilités.

2.2.2.1 Choix de conception des installations nucléaires et de protection, des équipements électriques résistant aux risques météorologiques extrêmes

Mesure de réduction – R2.2z : choix de conception des installations nucléaires et de protection, des équipements électriques résistant aux risques météorologiques extrêmes

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Phase(s)
Climat	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, ITE)	CI, F

Les installations nucléaires et les équipements importants pour la protection (comme les freins du funiculaire et les ventilateurs) sont conçus pour fonctionner sur des plages de température très larges :

- de -15 °C à +35 °C en continu ;
- de -20 °C à +42 °C pendant sept jours consécutifs ;
- de -25 °C à +47 °C pendant 12 heures consécutives.

Ces températures permettent notamment de couvrir une hausse de température moyenne et des vagues de chaleur qui seraient de plus en plus fréquentes en lien avec l'évolution climatique.

La forte inertie des ouvrages en béton armé, dont une grande partie est enterrée, fait qu'ils sont peu sensibles à de telles températures. Certains matériels, principalement électriques, mais aussi les rails sur l'installation terminale embranchée et la ligne ferroviaire, peuvent être plus sensibles aux élévations de températures, notamment au-delà de +40 °C, ce qui augmente le risque de surchauffe ou de panne. Ces matériels, lorsqu'ils assurent une fonction importante pour la protection des colis de déchets, sont dans des locaux techniques disposant d'une ventilation conventionnelle, renforcée aux agressions externes. Par précaution, en cas de risque d'atteinte d'une température très élevée de l'air extérieur (alerte Météo-France par exemple), les opérations sensibles comme la manutention ou le transport des colis de déchets radioactifs pourront être arrêtées temporairement.

Les installations sensibles sont conçues pour résister à des rafales de vents violents et également à des tornades (jusqu'à plus de 230 km/h). Pour faire face à une situation de tornade, les installations sensibles sont également dimensionnées pour résister au choc lié à des projectiles tels qu'un véhicule qui serait garé à proximité ou des éléments en acier. Enfin, les ouvertures comme les bouches de ventilation, sont pourvues de chicanes afin d'éviter qu'un projectile ne puisse endommager des équipements présents à l'intérieur des installations nucléaires.

La ventilation peut être sensible aux effets du vent. Ainsi, des dispositions spécifiques sont retenues, en particulier :

- de la redondance et la ségrégation géographique des ventilateurs de soufflage et d'extraction de la ventilation de l'installation souterraine ;
- du dimensionnement de la ventilation nucléaire des installations de surface et souterraine en tenant compte des pertes de charges dues à des vents extrêmes ;
- de chicanes sur les ouvertures, comme les bouches de ventilation, afin d'éviter qu'un projectile ne puisse endommager des équipements présents à l'intérieur de l'installation nucléaire ;
- de l'orientation des prises d'air et des émissaires de rejets en fonction du sens des vents dominants sur le site.

Il est à noter qu'il est possible d'arrêter provisoirement la ventilation le temps de l'évènement sans remettre en cause la sûreté du centre de stockage Cigéo. Les opérations d'exploitation des installations sont arrêtées et ces installations sont mises en sécurité (dépose des colis de déchets, mise en confinement statique des locaux contenant des radionucléides) avant cet arrêt de ventilation.

Les installations sensibles sont dimensionnées pour résister à une accumulation importante de neige sur les toitures. Ce dimensionnement est défini dans le respect de règles dites « neige et vents » qui précisent les conditions dans lesquelles les charges apportées par la neige et les efforts du vent doivent être pris en compte dans la conception. Certains bâtiments, comme le bâtiment nucléaire de surface et l'une des deux usines de ventilation, est en outre conçue pour résister à des chargements beaucoup plus importants (notamment la résistance à la chute d'avions). En complément, les prises d'air de la ventilation sont toutes situées en hauteur pour éviter les risques d'obstruction. Cette disposition permet de garantir les fonctions de sûreté accomplies par la ventilation des installations sensibles. Sur alerte vigilance de Météo-France, les installations peuvent être mises en sécurité et les accès sont déneigés.

La maîtrise des risques liés à la foudre repose d'une part sur la surveillance des prévisions météorologiques et d'autre part, sur la mise en place de systèmes de protection contre la foudre tels que des dispositifs de capture et de mise à la terre des équipements métalliques conducteurs, des parafoudres sur les lignes haute tension et des parasurtenseurs au niveau des armoires électriques. Ces équipements permettent d'éviter le déclenchement d'un incendie lié à la foudre ou de protéger les installations électriques, pour permettre la continuité de service. Ces dispositions de protection couvrent également les risques de dysfonctionnements liés aux interférences électromagnétiques induites par les coups de foudre.

Des dispositifs de protection des installations sensibles (comme des bandes de pelouses rases et la mobilisation rapide des équipes d'intervention incendie) sont prévus vis-à-vis des feux de forêt (cf. Chapitre 11.3.2.4 du présent volume).

Modalité de suivi

Un suivi des installations et des températures des installations sensibles est réalisé tout au long de la phase de fonctionnement.

2.2.2.2 Maîtrise des consommations d'eau

Mesure de réduction – R2.1z : maîtrise des consommations d'eau			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Climat **Eaux souterraines et superficielles**	Andra	Centre de stockage Cigéo	APR, CI, F

Dans un souci d'économie de la ressource, une recherche des techniques de moindre consommation d'eau, des dispositifs pour réduire la consommation d'eau est mise en œuvre quelle que soit la phase du projet.

Modalité de suivi

Suivi de la consommation d'eau.

2.2.2.3 Recyclage des eaux produites

Mesure de réduction – R2.2z : recyclage des eaux produites			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Climat	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP)	APR, CI, F

Dans un souci d'économie de la ressource, des filières de traitement des eaux sont prévues sur le centre de stockage afin de recycler une partie des eaux produites. Ces eaux recyclées alimentent les postes les plus consommateurs en eau, notamment la fabrication du béton et l'arrosage des espaces verts, et fonctionnement du tunnelier.

La mesure R2.2z - réutilisation prioritaire des eaux traitées pour les besoins en eau non potable du centre de stockage Cigéo dans le chapitre 5 du présent volume détaille plus précisément les différentes modalités de recyclage des eaux.

Modalité de suivi

Surveillance des consommations d'eau :

- en ce qui concerne l'utilisation rationnelle et la surveillance des consommations d'eau, les fréquences de suivi des consommations sont définies. Une surveillance continue des consommations d'eau potable, des volumes d'eau recyclée et des volumes d'eau d'exhaure est réalisée.

Surveillance du bon fonctionnement des ouvrages constituant les dispositifs de recyclage des eaux :

- l'utilisation des eaux recyclées pour des usages d'eau non potable du centre de stockage Cigéo fait l'objet d'une demande auprès de l'Agence régionale de santé (ARS). Un suivi très spécifique des eaux de recyclage est mis en place pour vérifier la performance des dispositifs d'approvisionnement ;
- les ouvrages constituant les dispositifs de recyclage des eaux (réseaux et cuves) font l'objet d'un entretien préventif et d'un contrôle régulier de leur état et de leur bon fonctionnement. L'ensemble des opérations d'entretien et de contrôle effectuées est consigné sur un registre éventuellement informatisé et tenu à la disposition de l'administration. En complément, un suivi des incidents ayant entraîné l'arrêt des dispositifs de recyclage d'eaux (y compris analyse des causes et mesures prises pour y remédier) est mis en place. Ce suivi est consigné sur un registre, éventuellement informatisé et tenu à la disposition de l'administration.

Ce suivi permet de garantir le bon fonctionnement des ouvrages constituant les dispositifs de recyclage des eaux et leur pérennité.

2.2.2.4 Choix d'essences résistantes aux sécheresses pour la végétalisation du site et dans le cadre de la compensation

Mesure de réduction – R2.2z : choix d'essences résistantes aux sécheresses pour la végétalisation du site et dans le cadre de la compensation			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Climat	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP)	APR, CI, F

L'anticipation du réchauffement climatique est également prise en compte dans le choix des essences pour la végétalisation du site et dans le cadre de la compensation. À titre d'exemple, le chêne est favorisé du fait de son enracinement profond apte à supporter de fortes sécheresses.

Modalité de suivi

L'Andra met en place une veille sur les « alertes sécheresse » avec Météo-France.

2.2.2.5 Dimensionnement des bassins définitifs de collecte des eaux pluviales pour une pluie centennale

Mesure de réduction – R2.2q : dimensionnement des bassins définitifs de collecte des eaux pluviales pour une pluie centennale			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Climat	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP)	APR, CI, F

Sur le centre de stockage Cigéo, les bassins de collecte définitifs des eaux pluviales sont dimensionnés avec des marges de sûreté de façon à collecter les eaux pluviales lors d'évènements pluvieux extrêmes au-delà des évènements historiques et pour des périodes de retour centennales.

En outre, en cas de pluies fortes à très fortes, la présence des multiples bassins de rétention sur les installations assure une régulation des débits rejetés en aval du centre de stockage Cigéo afin d'éviter toute incidence notable sur le débordement des cours d'eau à proximité du site et d'inondation des villages[2].

Par ailleurs, la capacité des bassins à gérer les évènements extrêmes, dont les précipitations, sera réévaluée au minimum tous les 10 ans, lors des révisions réglementaires des études de sûreté nucléaire, appelés « réexamens de sûreté ». L'aménagement de ces bassins sur les sites du centre de stockage (en zone descenderie et en zone puits) permet leur extension.

La mesure R2.1d : Mise en place de dispositifs de traitement des rejets des eaux pluviales pour ne pas altérer la qualité des eaux superficielles et des eaux souterraines par transfert dans le chapitre 5 du présent volume détaille plus précisément le dimensionnement de ces bassins de traitement.

Modalité de suivi

Un suivi régulier des volumes d'eau recueillis dans les bassins de gestion des eaux sera réalisé.

2.2.2.6 Sécurisation de la ligne RTE

Mesure de réduction : R2.2z : Sécurisation de la ligne RTE			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Climat	RTE	Alimentation électrique	APR, CI, F

La sécurisation de la ligne RTE la rend plus résistante aux évolutions du climat. Par ailleurs, le projet de raccordement électrique du centre de stockage Cigéo ne présente pas de vulnérabilité particulière au changement climatique. La technologie mise en œuvre par RTE pour ses installations est éprouvée et utilisée sur d'autres installations en fonctionnement.

RTE assure également l'entretien régulier et la mise à niveau du réseau de transport électrique en France. En outre, l'indisponibilité temporaire du réseau électrique RTE est prévue dans la conception du centre de stockage, qui dispose de groupes électrogènes de secours pour assurer l'alimentation électrique minimale nécessaire à l'arrêt des opérations sensibles et à la mise en sécurité des installations.

[2] Les incidences temporaires et permanentes du projet sur les eaux superficielles et souterraines sont évaluées respectivement aux chapitres 5.1 et 5.2 du présent volume.

Modalité de suivi

Un suivi des installations et des températures des installations sensibles est réalisé tout au long de la phase de fonctionnement.

2.2.3 Incidences résiduelles

Les choix de conception du projet global Cigéo intègrent la prise en compte de l'évolution à long terme des risques météorologiques du fait des effets du changement climatique (canicules, grand froid, tempêtes, fortes pluviométries). La vulnérabilité du projet global Cigéo au changement climatique est donc très faible.

Les incidences résiduelles liées à l'augmentation des épisodes de sécheresse sont très faibles grâce à la mise en place de mesures pour réduire la consommation en eau et le choix d'essences résistantes aux sécheresses pour la végétalisation du site et dans le cadre de la compensation.

Compte tenu du dimensionnement des bassins de collecte des eaux pluviales et de leur adaptabilité sur les décennies à venir, les incidences résiduelles liées à l'augmentation des épisodes pluvieux en fréquence et en intensité sont très faibles.

Le changement climatique ne conduit pas à la survenue d'incidences supplémentaires.

La vulnérabilité du projet global Cigéo et les incidences liées au changement climatique sont très faibles.

2.2.4 Synthèse des incidences et mesures vis-à-vis de la vulnérabilité au changement climatique

Le tableau 2-4 synthétise les mesures mises en œuvre pour réduire la vulnérabilité du projet aux risques météorologiques et à leur évolution à long terme dans le cadre du changement climatique. Ces mesures permettent ainsi de réduire les incidences du projet en cas de survenue de ces risques.

Tableau 2-4 Synthèse des mesures mises en œuvre pour limiter l'impact à long terme sur les conditions météorologiques locales et donc les effets des risques météorologiques et du changement climatique dans le cadre du projet global Cigéo

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effet attendu de la mesure	Modalités de suivi	MOA	Opération
Vulnérabilité du projet aux risques météorologiques et à l'aggravation de ces risques du fait du changement climatique	**Vulnérabilité du projet aux risques météorologiques et à l'aggravation de ces risques du fait du changement climatique : Niveau d'incidences potentielles : Notable**						
	Choix de conception des installations nucléaires et de protection, des équipements électriques résistant aux risques météorologiques extrêmes	R	APR, CI, F	Réduire la vulnérabilité du projet évènements climatiques extrêmes	Suivi des installations et des températures	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Maîtrise des consommations d'eau	R	APR, CI, F	Réduire la consommation d'eau	Suivi des consommations d'eau	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Recyclage des eaux produites	R	APR, CI, F	Anticiper le réchauffement climatique	Surveillance des consommations d'eau Surveillance du bon fonctionnement des ouvrages constituant les dispositifs de recyclage des eaux	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Choix d'essences résistantes aux sécheresses pour la végétalisation du site et dans le cadre de la compensation	R	APR, CI, F	Anticiper le réchauffement climatique	Suivi de la résistance des végétaux Alerte sécheresse Météo-France	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Dimensionnement des bassins de collecte des eaux pluviales pour une pluie centennale	R	APR, CI, F	Recueillir les précipitations extrêmes	Suivi des volumes recueillis	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Sécurisation de la ligne RTE	R	APR, CI, F	Réduire la vulnérabilité du projet au changement climatique	Suivi des installations et des températures	RTE	Alimentation électrique
	Vulnérabilité du projet aux risques météorologiques et à l'aggravation de ces risques du fait du changement climatique : Niveau d'incidences résiduelles : Très faible						

*Type de mesure : **E :** évitement ; **R :** réduction ; **C :** compensation : **A** : accompagnement.*

*Phase : **APR** : aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement.*

Les risques météorologiques répertoriés sur l'aire d'étude éloignée sont les tempêtes, les orages et les phénomènes associés, les fortes pluies, les chutes de neige et le verglas, les périodes de grand froid, les canicules et les périodes de sécheresse. Les effets du changement climatique peuvent aggraver les situations de risques appliquées au projet global Cigéo, notamment par l'augmentation des températures de fonctionnement des équipements, l'augmentation du risque incendie et la survenue de précipitations extrêmes.

Le projet n'est pas de nature à modifier les risques météorologiques existants.

La conception du projet global Cigéo intègre la prise en compte des risques météorologiques extrêmes et leur aggravation du fait du changement climatique : tempêtes, canicules, grands froids y compris neige, fortes précipitations et foudre.

Les installations nucléaires et les équipements importants pour leur protection sont conçus pour fonctionner sur des plages de température très larges :

- de -15 °C à +35 °C en continu ;
- de -20 °C à +42 °C pendant sept jours consécutifs ;
- de -25 °C à +47 °C pendant 12 heures consécutives.

La forte inertie des ouvrages en béton armé, dont une partie est enterrée, fait qu'ils sont peu sensibles à ces températures extrêmes.

Des dispositifs de protection des installations sensibles sont prévus vis-à-vis des feux de forêt. L'anticipation du réchauffement climatique est également prise en compte par le choix d'essences résistantes à la sécheresse, pour la végétalisation du site et dans le cadre de la compensation.

Concernant le risque lié aux fortes précipitations, les bassins de collecte des eaux pluviales sont dimensionnés avec des marges de sûreté de façon à collecter les eaux pluviales lors d'évènements pluvieux extrêmes au-delà des évènements historiques et pour des périodes de retour centennales.

Ces mesures permettent de garantir que le projet n'est pas vulnérable aux risques météorologiques actuels et à venir. Les incidences du projet global Cigéo qui résultent de la survenue de ces évènements sont donc très faibles.

La vulnérabilité du projet global Cigéo et les incidences liées au changement climatique sont très faibles.

2.3 Énergie et gaz à effet de serre (GES)

2.3.1 Incidences potentielles

En phase d'aménagements préalables, les principales sources d'émissions de gaz à effet de serre du centre de stockage Cigéo sont :

- la consommation d'énergie thermique et émission de gaz d'échappement pour les engins de chantier, lors des terrassements ou le creusement des galeries notamment ;
- la fabrication de ciment et l'utilisation d'acier, de gravier et de sable dans les bétons pour la réalisation des ouvrages ;
- la perte de séquestration carbone liées au défrichement et à l'artificialisation de terres agricoles.

Les opérations d'alimentation électrique, d'adduction d'eau, de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et de déviation de la route départementale D60/960 sont émettrices de gaz à effets de serre pendant leurs travaux de construction. Ces émissions sont minimes au regard de celles du centre de stockage Cigéo.

En phase de construction initiale, les principales sources d'émissions de gaz à effet de serre du projet global Cigéo sont :

- la fabrication des bétons pour les installations de surface et l'installation souterraine ;
- la consommation d'énergie thermique et les émissions de gaz d'échappement pour les engins de creusement et les transferts de matériaux que ce soit par la route ou par l'ITE et la ligne ferroviaire 027000 en fonctionnement ;
- la consommation d'énergie électrique pour la construction des bâtiments et les éclairages.

En phase de fonctionnement, les principales sources d'émissions de gaz à effet de serre du centre de stockage Cigéo sont :

- la fabrication des bétons pour les travaux d'extension des ouvrages souterrains ;
- la consommation d'énergie thermique et les émissions de gaz d'échappement pour les engins de creusement et les transferts de matériaux que ce soit par la route ou par l'ITE et la ligne ferroviaire 027000 et l'opération d'expédition et transport des colis de déchets radioactifs en fonctionnement ;
- la consommation d'énergie électrique pour la ventilation et le traitement de l'air des installations nucléaires de surface et de l'installation souterraine ;
- les chaudières d'une puissance installée totale de l'ordre de 12,5 MW réparties sur les zones descenderie et zone puits.

D'autres sources d'émissions de gaz à effet de serre, communes à toutes les phases, sont liées au fonctionnement du site : déplacements domicile-travail des salariés, production de déchets alimentaires et consommation électrique des bases vie et des bâtiments.

Les sources d'émission de gaz à effet de serre sont structurées par poste d'émission. Ces postes sont définis dans le chapitre 2 du volume VII de la présente étude d'impact.

Les incidences potentielles suite à l'émission de gaz à effet de serre sont notables pour l'ensemble des opérations du projet global Cigéo. Le bilan carbone du projet global Cigéo est estimé à environ 11 millions de tCO2eq avant la mise en place de mesures.

Le tableau 2-5 synthétise les incidences potentielles du projet global Cigéo sur l'énergie et les GES.

Tableau 2-5 Incidences potentielles du projet global Cigéo sur l'énergie et les gaz à effet de serre

Incidences potentielles	Centre de stockage Cigéo	Alimentation électrique	Adduction d'eau	Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000	Déviation de la route départementale D60/960	Expédition et transport des colis de déchets radioactifs
Émissions de gaz à effet de serre (GES)	APR, CI, F	APR	APR	APR, CI, F	APR	F

En orange : incidence potentielle notable ; en bleu : incidence potentielle non notable
***APR** : aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement*

2.3.2 Mesures d'évitement et de réduction

2.3.2.1 Évitement partiel des zones boisées

Mesure d'évitement – R.2.2.e : évitement partiel des zones boisées			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Gaz à effet de serre	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP)	APR, CI, F

Comme détaillé dans le volume II, le choix a été fait de répartir la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo entre des espaces forestiers et des espaces agricoles. Ainsi, plusieurs centaines d'hectares de forêts ne sont pas défrichées et conservent leur capacité de séquestration du carbone qui est bien supérieure à celles des terrains cultivés. Cela permet d'éviter de libérer des stocks de carbone contenus dans les arbres et dans les sols.

Modalité de suivi

Un suivi de la répartition de l'occupation des sols, et notamment des surfaces boisées, est réalisé tout au long du projet global Cigéo.

2.3.2.2 Intégration des évolutions technologiques dans la conception du projet

Mesure de réduction – R2.2.z : intégration des évolutions technologiques dans la conception du projet			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Gaz à effet de serre	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, ZIOS, LIS, ITE)	APR, CI, F
	CD52	Déviation de la RD60/960	
	RTE	Alimentation électrique	
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000	
	SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau	

Le bilan carbone est actualisé durant toutes les phases de conception puis sur toute la durée de vie des installations afin de maintenir une démarche visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

L'objectif, conformément à la Stratégie nationale bas-carbone (7), compte tenu de la longue durée dans laquelle s'intègre le projet global Cigéo et de son développement progressif, est d'intégrer, à chaque fois que c'est possible, les évolutions technologiques qui permettront dans les années à venir de réduire ces émissions et en particulier celles liées à la consommation énergétique. Le projet global Cigéo bénéficiera donc des évolutions technologiques qui seront mises en place dans le contexte d'une économie globalement décarbonée visé par le gouvernement dans les prochaines décennies et après vérification que celles-ci n'entraînent pas de risque supplémentaire sur le plan de la sûreté.

Le ciment et l'acier sont les deux matériaux principaux responsables des émissions de gaz à effets de serre. C'est donc sur ces deux matériaux que les leviers de réduction seront étudiés dans les phases ultérieures du projet.

Ciment

Un des leviers principaux identifiés est de réduire l'impact du ciment par le recours à des types de ciment conventionnels (ciment CEM II, CEM III ou CEM V) en substitution du ciment CEM I majoritairement employé. Les CEM III, CEM V qui comportent du laitier de haut-fourneau sont bien adaptés aux travaux hydrauliques souterrains, aux fondations, aux travaux en milieu agressif, aux bétons de masse et généralement à tous travaux nécessitant une faible chaleur d'hydratation. Leur utilisation permet de réduire les émissions de CO_2 grâce à la substitution du clinker par d'autres constituants.

Pour autant, la très haute technicité à mettre en œuvre le béton (et donc le ciment) au niveau des ouvrages souterrains va imposer une formulation spécifique afin de garantir la qualité et les performances d'un béton qui puisse être robuste dans le temps. En ce sens, ces critères pourraient être limitants par rapport à l'emploi d'un autre type de ciment pour les ouvrages souterrains. De plus, il est constaté une absence de retour d'expérience sur le long terme pour l'emploi de ciment autre que le CEM I pour des ouvrages tunneliers. Il est également rappelé que les ouvrages souterrains représentent ici les organes de sécurité de Cigéo, dans le but de garantir la sûreté.

Attaché au temps long du projet global Cigéo puisque le développement des galeries souterraines est fait pendant toute la période de fonctionnement, ce domaine a pu être identifié comme fortement impactant et pour lequel des innovations en termes de décarbonation peuvent se présenter et qui permettront de réduire significativement l'impact carbone du projet global de Cigéo.

En ce qui concerne les bâtiments en surface, le recours à d'autres types de ciment devrait être davantage envisageable, sous respect d'un certain nombre de dispositions, en respectant notamment *a minima* les mêmes caractéristiques de résistance et de durabilité que le ciment de référence.

Acier de ferraillage/acier de charpente

Il est distingué les aciers servant pour les armatures de ferraillage des ouvrages du béton armé, et ceux servant pour les charpentes et structures métalliques d'autres ouvrages. Leur distinction est importante car l'emploi d'aciers de ferraillage autorise l'emploi d'aciers 100 % recyclé, ce qui n'est pas forcément le cas pour les autres aciers. Il n'existe pas de limitations techniques pour les aciers utilisés dans les armatures de ferraillage avec ce taux de recyclage.

Enfin, pour les autres aciers, la provenance d'acier varie en fonction de la fabrication des équipements. Certains proviennent d'acier neuf issu de la production sidérurgique de base qui consiste à transformer le minerai brut en acier. D'autres proviennent d'une proportion d'acier recyclé pour la fabrication des équipements qui peut varier de 40 % à 100 %. L'emploi d'un acier 100 % recyclé pour des ouvrages tels que des charpentes ou des structures métalliques paraît moins réaliste, au vu de certains retours d'expérience disponibles. En effet, comme pour le domaine de conduites forcées ou des systèmes sous pressions qui mettent en œuvre des aciers spéciaux, les contraintes exercées sur les aciers des galeries du centre de stockage Cigéo limiteront les possibilités d'emploi d'acier recyclé.

Modalité de suivi

Un suivi régulier du bilan carbone est réalisé de la conception jusqu'à la fermeture du centre de stockage.

2.3.2.3 Desserte du centre de stockage par train

Mesure de réduction – R.2.2.a : desserte du centre de stockage par train			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Gaz à effet de serre	Andra	Centre de stockage Cigéo (ITE)	CI, F
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000	F

L'approvisionnement des matériaux et matériels pour la construction du centre de stockage sera effectué majoritairement par fret ferroviaire. C'est dans cet objectif que l'Andra a retenu la création sur la zone descenderie d'un terminal permettant la réception du fret conventionnel.

Le fret ferroviaire n'est pas envisageable pour l'ensemble des matériaux. En effet, le fait de recourir au maximum à un approvisionnement local dans le but de minimiser les distances, couplé au fait que les besoins des matériaux ne représentent pas toujours des grands volumes anticipables, rend le fret ferroviaire pertinent uniquement pour certains matériaux. Le fret ferroviaire est envisageable principalement pour des matériaux comme les graviers, le ciment, et éventuellement d'autres éléments préfabriqués. Néanmoins, les volumes pour ces matériaux étant importants, le recours au fret ferroviaire en substitution du fret routier pour ces matériaux constitue une mesure de réduction notable en termes d'émissions de gaz à effet de serre.

Les émissions de gaz à effet de serre induites par l'installation terminale embranchée pendant la phase de fonctionnement du centre de stockage (de l'ordre d'une centaine d'années) sont estimées de l'ordre de 2 500 tonnes équivalent CO2 (teq CO2). Pendant cette phase, sans la réalisation de cette infrastructure, l'acheminement des convois de colis de déchets nucléaires et de fret devrait être réalisé par camion. Les émissions associées à l'utilisation de ce mode de transport sur une distance équivalente (14 km) seraient d'environ 12 000 teq CO2. L'installation terminale embranchée, couplée à la ligne 027000 mise à niveau, permet ainsi un gain de 9 500 teq CO2. Par ailleurs, la mise en service de cette installation pendant les aménagements préalables permet son utilisation pour les transports de matériaux pour la construction et donc la réduction de la circulation de camions.

Modalité de suivi

Un suivi de la part de fret par train par rapport à la route est réalisé durant toutes les phases du projet.

2.3.2.4 Maintien et restitution des capacités de séquestration carbone

Mesure de réduction – R.1.2.a : Maintien et restitution des capacités de séquestration carbone			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Gaz à effet de serre	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD)	CI, F

L'optimisation des surfaces artificialisées par le centre de stockage Cigéo a été prise en compte dès sa conception.

Ainsi, 37 ha de bois actuellement pris en compte dans la zone du centre de stockage sont conservés et 52 ha de bois et lisières créés permettent de restituer une partie de la capacité de séquestration carbone au cours de la phase de fonctionnement du projet.

Par ailleurs, la compensation forestière portant sur une surface de l'ordre de 275 ha, correspondant à environ deux fois la surface défrichée lors de la première phase, pourra permettre le reboisement de parcelles actuellement dégradées et améliorer leur pouvoir de séquestration carbone (cf. Chapitre 8.2 du présent volume).

Une superficie d'environ 24 ha de zones agricoles est conservée en zone descenderie. Dans le cadre du projet, elle est gérée en tant que surface naturelle des milieux ouverts. Cette surface permet de maintenir une partie de la capacité de séquestration carbone de la zone descenderie.

Les mesures de compensation du milieu naturel, notamment celles qui visent les milieux boisés et les milieux prairiaux contribuent également à favoriser la capacité de séquestration carbone.

Modalité de suivi

Un suivi de la répartition de l'occupation des sols, et notamment de la part des surfaces végétalisées, est réalisé tout au long du projet global Cigéo.

2.3.2.5 Réduction des besoins en matériaux et utilisation de matériaux bas carbone

Mesure de réduction – R2.1c : réduction des besoins en matériaux et utilisation de matériaux alternatifs			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Gaz à effet de serre	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD)	APR, CI, F

Une attention particulière est apportée lors des études, à la conception d'installations simples et durables répondant au juste besoin et minimisant les quantités en matériaux (en cohérence avec les schémas départementaux des carrières de la Meuse et de la Haute-Marne) pour leur construction mais également pour leur maintenance et leur entretien à plus long terme compte tenu de la durée de vie du projet global Cigéo.

Des optimisations des usages des différents matériaux ont été intégrées dès la conception, en prenant en compte les contraintes techniques inhérentes pour un projet comme Cigéo, dont le but principal est avant tout de garantir la sûreté.

Par exemple, lors des opérations de jouvence, la priorité donnée à la rénovation des bâtiments du centre de stockage et non leur déconstruction permet un gain de l'ordre de 7 000 teq CO_2.

Pour les bâtiments conventionnels, l'utilisation de béton bas carbone permet aussi de réduire notablement les émissions associées. La faisabilité d'utiliser des bétons à faible contenu carbone est étudiée pour la construction du bâtiment nucléaire semi-enterré et de l'installation souterraine qui sont les plus gros consommateurs de matières premières entrantes.

Modalité de suivi

Un suivi des quantités et types de matériaux consommés est réalisé tout au long du projet global Cigéo. Ce suivi est réalisé au regard des objectifs fixés en phase de conception afin de s'assurer de sa bonne exécution.

2.3.2.6 Utilisation rationnelle de l'énergie

Mesure de réduction – R2.1z : utilisation rationnelle de l'énergie			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Gaz à effet de serre	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, ITE, ZIOS)	APR, CI, F

Les bâtiments, y compris les installations temporaires de chantier sont, chaque fois que possible, à énergie positive et à haute performance environnementale. La consommation d'énergie des bâtiments pour le chauffage, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage respectent les critères d'exemplarité énergétique.

Par exemple, afin de limiter les besoins en climatisation et en chauffage, les installations tertiaires sont isolées et équipées de protection solaire efficace.

Dans l'installation souterraine, la ventilation induit une consommation importante d'énergie (ventilateurs et traitement de l'air). Toutefois, les débits de ventilation sont adaptés en fonction des creusements et de l'exploitation des zones de stockage.

La ventilation des galeries souterraines est le poste de consommation électrique le plus important au sein du projet global Cigéo.

Le dimensionnement des installations de chauffage fait l'objet d'une recherche d'optimisation en visant à répondre au juste besoin.

Des sources de récupération d'énergie sont recherchées. Ainsi, la conception du funiculaire prend d'ores et déjà en compte la récupération d'énergie, la moitié du besoin en énergie pour la remontée du funiculaire est assurée par l'énergie produite pendant la descente.

Sont par ailleurs à l'étude, les possibilités de la récupération d'énergie sur les systèmes de traitement d'air en particulier au niveau de l'installation souterraine. En effet, pour maintenir des conditions optimales pour le fonctionnement des équipements et pour les opérateurs dans l'installation souterraine, la température de l'air entrant doit être adaptée en fonction des conditions extérieures de température et d'humidité afin de maîtriser les phénomènes de condensation. L'air extrait est échauffé par le gradient de température liée à la profondeur, la dissipation thermique dans les zones de stockage de colis et la récupération des calories générées par la centrale de refroidissement installée au fond assurant la régulation d'ambiance pour les équipements électriques et électroniques. Un échange thermique entre l'air extrait et l'air soufflé de la partie souterraine en exploitation permettrait un préchauffage de l'air entrant et une limitation des consommations d'énergie primaire.

La récupération de l'énergie du fond constitue une des mesures principales de réduction déjà incluse à ce stade, puisque cette solution permet de proposer annuellement environ 52 300 $MW_{thermique}$ *via* une eau à 50 °C, ce qui permet de substituer une consommation de gaz qui aurait été importante pour assurer ce besoin.

Pour les systèmes de transfert et de manutention sont étudiés :

- le remplacement du système à enrouleur du pont stockeur par des rails frotteurs avec récupération de l'énergie pour contribuer à l'alimentation du pont ;
- la faisabilité de la récupération d'énergie sur les systèmes de transfert verticaux en puits ;
- l'intégration d'échangeurs sur les réseaux d'eaux pour permettre un préchauffage de l'eau sanitaire par les eaux « grises » provenant des douches au niveau des principaux vestiaires.

L'optimisation concerne aussi le fonctionnement des éclairages des installations en prenant en compte la géolocalisation du personnel et la nature des activités. L'éclairage est limité au juste besoin. Tous les bureaux occupés en moyenne plus d'une heure par jour comportent des baies transparentes permettant une vue directe vers l'extérieur à l'horizontale du regard depuis les postes de travail et apportant une lumière naturelle suffisante. Les protections solaires laissent passer assez de lumière naturelle pour ne pas avoir à allumer l'éclairage artificiel quand elles sont en place. Les zones de circulation y compris dans l'installation souterraine sont éclairées en privilégiant le déclenchement sur détection de présence et un système d'extinction automatique est installé dans les bâtiments tertiaires. Une optimisation des puissances est recherchée en optant pour l'ajout ponctuel de compléments d'appoint pour les opérations de maintenance en particulier. Les équipements d'éclairage utilisés sont à faible consommation.

Modalité de suivi

Les consommations énergétiques feront l'objet d'un suivi annuel *via* des compteurs répartis au sein du centre de stockage Cigéo et des actions d'optimisation pourront être conduites durant toute la vie de l'installation en prenant en compte les évolutions technologiques.

Un suivi spécifique sera réalisé sur les consommations énergétiques des installations de traitement de l'air.

2.3.2.7 Recours aux énergies renouvelables pour les consommations énergétiques du centre de stockage Cigéo

Mesure de réduction – R2.2z : recours aux énergies renouvelables pour les consommations énergétiques du centre de stockage Cigéo			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Gaz à effet de serre	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD)	CI, F

Les principales sources d'énergies renouvelables de l'aire d'étude éloignée sont le bois énergie (biomasse) et les éoliennes. Pour des raisons de sécurité, il n'est pas envisageable d'installer des éoliennes dans la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo. Elles présentent des risques de projections de pales qui ne sont pas acceptables dans une installation nucléaire.

La solution d'une chaudière biomasse a été étudiée au profit d'une chaudière mixte gaz/fioul. En considérant une chaudière biomasse, les émissions de gaz à effet de serre pour la consommation résiduelle de gaz seraient d'environ 20 000 tCO2e contre 410 000 tCO2 par an avec l'emploi du gaz naturel, soit une réduction globale d'environ 390 000 tCO2eq par an.

La chaudière biomasse nécessiterait environ 350 000 tonnes de granulés sur la durée de vie du projet soit en considérant une exploitation de 120 ans, une nécessité de 3 000 tonnes/an de bois. D'après les études menées, la Haute-Marne, la Meuse ou encore les Vosges pourraient offrir les ressources en bois suffisantes.

Pour les locomotives des trains assurant la desserte du centre de stockage Cigéo, l'utilisation d'énergie renouvelable en remplacement d'hydrocarbures actuellement envisagés est à l'étude.

Enfin, l'installation de panneaux solaires sur les toitures des bâtiments tertiaires est à l'étude pour participer à l'approvisionnement en eau chaude sanitaire.

Modalité de suivi

Un suivi des énergies renouvelables utilisées sur le centre de stockage et des puissances de ces énergies dans la part des énergies utilisées est réalisé tout au long des phases du projet de centre de stockage.

2.3.2.8 Réduction des émissions liées aux engins et véhicules thermiques

Mesure de réduction – R.2.1.a : réduction des émissions liées aux engins et véhicules thermiques			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Gaz à effet de serre	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, LIS, ITE, ZIOS)	APR, CI, F

L'attention est également portée sur la consommation des engins et véhicules qui doivent respecter les normes limitant les émissions de gaz à effet de serre, faire l'objet d'entretien régulier et respecter des normes récentes.

- Déplacements en véhicules légers

L'utilisation de véhicules et engins électriques et hybrides est privilégiée dès que possible. Elle est développée en particulier pour les déplacements de personnels sur les installations et les trajets travail-domicile.

Afin de réduire l'usage des carburants fossiles, des navettes sont mises en place dès la phase de construction pour les déplacements entre les différentes zones de chantiers. Des vélos et des voitures électriques sont également proposés sur les sites. Des actions de sensibilisation à la conduite économique et écologique sont organisées.

- Engins et véhicules liés à l'approvisionnement des matériaux du chantier

Si le recours au fret routier pour les autres matériaux que les graviers et le ciment (cf. Chapitre 2.3.2.3 du présent volume) restera majoritairement utilisé, un transport routier bas carbone de marchandises est possible avec un secteur qui se structure et développe des solutions de motorisations alternatives qui commencent à arriver sur le marché : biocarburant, bioGNV, 100 % électrique, hydrogène. Cela reste toutefois un levier qui dépend du marché, même si cette volonté pourrait être traduite et mise en œuvre au niveau des dossiers de consultation des entreprises.

Un levier de réduction identifié au sein du poste du fret est également de réduire au maximum les distances entre le centre de stockage et les centres d'approvisionnement. Les approvisionnements locaux seront privilégiés.

- Engins de chantier

L'analyse menée dans l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre permet de mettre en avant que la quasi-intégralité des émissions liées aux engins et véhicules thermiques du projet global Cigéo est établie par la consommation de carburant des engins thermiques utilisés pour le creusement d'une partie des galeries souterraines.

Attaché au temps long du projet puisque le creusement des galeries est fait en continu et pendant toute la période de fonctionnement, ce domaine a pu être identifié comme fortement impactant et pour lequel des innovations en termes de décarbonation peuvent se présenter et qui permettront de réduire l'impact carbone global de Cigéo.

Gestion des terres

Concernant la gestion des terres, pour minimiser les transports mais également la consommation de ressources, l'objectif recherché pour l'aménagement des zones est un équilibre entre déblais et remblais, lorsque les caractéristiques des matériaux le permettent.

Convoyeurs à bande

Quant aux matériaux issus des creusements, l'utilisation d'une bande transporteuse pour leur transfert de la zone descenderie vers la zone verses permet une réduction des émissions de l'ordre de 200 teq CO_2.

Afin de réduire le trafic PL sur la partie sud-ouest et ouest du site (côté Saudron), il est mis en place un convoyeur permettant de relier l'ITE à la ZP *via* le convoyeur de la LIS.

La systématisation du transport des matériaux de creusement par convoyeurs sur les zones, si possible électriques, est également étudiée.

Modalité de suivi

Un contrôle et un entretien régulier des véhicules et engins est réalisé tout au long de leur utilisation sur le site.

Un suivi de l'ensemble des consommations énergétiques des engins de chantier permettra d'assurer un contrôle et une utilisation rationnelle des équipements.

2.3.2.9 Surveillance et maintenance des équipements contenant des fluides frigorigènes

Mesure de réduction – R2.2z : surveillance et maintenance des équipements contenant des fluides frigorigènes

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Phase(s)
Gaz à effet de serre	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD)	CI, F
	RTE	Alimentation électrique	

Les systèmes de production de froid comportent au moins un circuit contenant un fluide caloporteur. Ces systèmes ne sont pas parfaitement hermétiques et présentent des fuites. Les gaz fluorés issus de ces fuites sont de puissants gaz à effet de serre.

Un des premiers leviers de réduction identifié sur ce poste est d'assurer un suivi et une maintenance accrue des installations de climatisation, afin de limiter au maximum les fuites de fluides frigorigènes.

Au niveau des fluides frigorigènes le principal responsable des émissions de GES reste le fluide R134a encore majoritairement utilisé, avec 85 % des émissions pour les pertes liées aux fluides frigorigènes.

Modalité de suivi

Contrôles d'étanchéité des équipements frigorifiques ou climatiques : Lorsque cela est requis par la réglementation, notamment celle relative aux ICPE et aux émissions de gaz à effet de serre, des contrôles d'étanchéité des équipements frigorifiques ou climatiques sont réalisés. Les résultats des contrôles effectués sont consignés sur un registre éventuellement informatisé et tenu à la disposition de l'administration.

Inventaire des équipements et stockage fixes susceptibles d'être à l'origine des émissions de gaz à effet de serre fluorés : Pour les installations contenant des gaz à effet de serre fluorés, un inventaire des équipements et des stockages fixes qui contiennent plus de 2 kg de fluide est mis en place et maintenu à jour (avec précision de la capacité unitaire, du fluide contenu, ainsi que la quantité maximale susceptible d'être présente dans des équipements sous pression transportables ou dans des emballages de transport).

Registre de suivi des opérations de dégazage : pour les installations contenant des gaz à effet de serre fluorés, un registre des opérations de dégazage ayant entraîné ponctuellement une émission de plus de 20 kg de fluides ou ayant entraîné au cours de l'année civile des émissions cumulées supérieures à 100 kg est mis en place et maintenu à jour. Ces opérations sont portées à la connaissance du représentant de l'État dans le département et à l'Autorité de sûreté nucléaire (pour les opérations ayant eu lieu au sein du périmètre de l'INB).

2.3.2.10 Critères de sobriété énergétique permettant de choisir les entreprises

Mesure de réduction – R2.1z : critères de sobriété énergétique permettant de choisir les entreprises

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Phase(s)
Gaz à effet de serre	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, ZIOS, LIS, ITE)	APR, CI, F
	CD52	Déviation de la route départementale D60/960	
	RTE	Alimentation électrique	
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000	
	SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau	

La mise en œuvre de certaines mesures pourra être inscrite dans le cahier des clauses techniques et particulières de la consultation des entreprises de travaux.

Les offres des entreprises qui seront sollicitées pour la réalisation des équipements et la construction des installations seront analysées en prenant en compte leur approche dans la recherche de sobriété énergétique et la minimisation de l'impact Carbone.

Modalité de suivi

La vérification de l'intégration des critères de sobriété énergétiques devra être réalisée lors de l'élaboration des dossiers de consultation des entreprises. Le respect des engagements pris par les entreprises au stade des réponses aux appels d'offres sera suivi tout au long du chantier.

2.3.2.11 Optimisation de la gestion des déchets

Mesure de réduction – R2.1c : optimisation de la gestion des déchets			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Gaz à effet de serre	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, ZIOS, LIS, ITE)	APR, CI, F
	CD52	Déviation de la route départementale D60/960	
	RTE	Alimentation électrique	
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000	
	SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau	

Afin d'assurer une gestion des déchets privilégiant la valorisation et le recyclage, des déchetteries industrielles conventionnelles sont installées dès le début de la phase de construction initiale du centre de stockage. Ces déchetteries prendront en charge les déchets liés à la construction du centre de stockage Cigéo puis les déchets conventionnels induits par son fonctionnement (cf. Chapitre 10.4 du présent volume).

Ces déchetteries permettent une gestion optimisée des déchets et une orientation vers les filières adaptées.

Les déchets produits par les entreprises font l'objet d'un suivi permettant de veiller à une production raisonnée et les transports vers les filières seront ainsi rationnalisés.

Les autres maîtres d'ouvrage prennent également en compte dès les phases de conception une démarche d'optimisation de leurs déchets en particulier ceux induits lors des opérations de construction.

Afin de limiter l'incidence sur l'environnement du transport des déchets, les filières de traitement locales du Grand Est sont privilégiées dès la phase d'aménagements préalables. Il n'est pas envisagé de transfert transfrontalier de déchets.

Modalité de suivi

Un suivi des tonnages de déchets acheminés vers les différentes filières est réalisé tout au long des chantiers. Le suivi spécifique aux déchets est précisé au chapitre 10 du présent volume.

Tenue et maintien à jour d'un registre déchets : La tenue d'un registre déchets permet de justifier :

- de la caractérisation et de la quantification des déchets générés, notamment des déchets dangereux (suivi des quantités de déchets produits et stockés sur site permettant de vérifier que les quantités stockées ne dépassent pas un mois de production ou un lot normal d'expédition vers l'installation de valorisation ou d'élimination) ;
- de l'élimination de tous les déchets générés (traçabilité dans le registre de la nature, du tonnage, de filière d'élimination, conservation des bordereaux de suivi et des documents justificatifs de traitement…).

2.3.3 Incidences résiduelles

L'estimation du bilan carbone du projet global Cigéo a été réalisé selon la méthode Carbone® de l'Ademe. La méthodologie est détaillée au chapitre 2.3 du volume VII de la présente étude d'impact.

Ce bilan carbone continuera d'être amélioré tout au long de la vie séculaire du projet. Le projet global Cigéo bénéficiera des évolutions technologiques qui seront mises en place dans le contexte d'une économie globalement décarbonée porté par la stratégie nationale bas carbone. Ainsi, l'objectif est d'atteindre un bilan carbone du projet global Cigéo inférieur à 10 millions tC02eq.

En se positionnant dans une situation technologique actuelle et avec les niveaux de conception disponibles à ce stade des études, la répartition par poste d'émission du centre de stockage Cigéo est la suivante :

Tableau 2-6 Répartition des émissions de gaz à effet de serre par postes d'émission

Poste d'émission	Émissions relatives (%)
Énergie	53 %
Intrants	30 %
Immobilisations	7 %
Déplacements	4 %
Fret	3 %
Hors Energie	2 %
Déchets	1 %
TOTAL	100 %

Les deux postes d'émission énergie et intrants sont les plus prépondérants puisqu'ils représentent à eux deux une part supérieure à 80 % des émissions du projet global Cigéo.

La part d'émission la plus importante provient du poste énergie avec environ 53 % des émissions, suivi du poste relatif aux intrants avec environ 30 % des émissions. Le cumul des cinq autres postes d'émission représente ainsi 17 % des émissions, avec une part maximum de 7 % pour le poste immobilisations (principalement l'acquisition d'engins ou de machines de manutention). Le poste fret, relatif à l'approvisionnement de l'ensemble des matériaux nécessaires à la construction du centre ainsi qu'à l'évacuation des déchets, ne représente quant à lui que 3 % des émissions.

La répartition des émissions selon les différentes phases opérationnelles du projet global Cigéo est présentée sur la figure suivante :

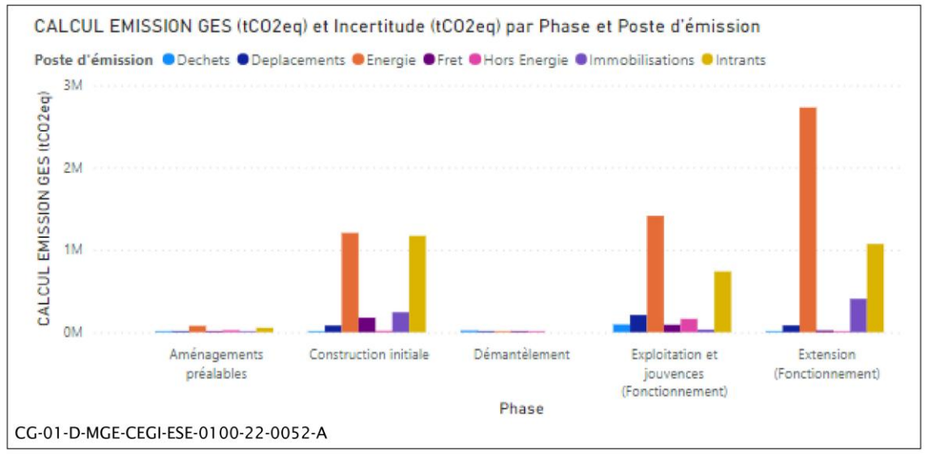


Figure 2-5 Émissions de gaz à effet de serre par phases opérationnelles et postes d'émission

À travers ce graphique, l'analyse met en avant que cette prépondérance des deux postes énergie et intrants se retrouve essentiellement sur deux phases opérationnelles du projet :

- la construction initiale ;
- le fonctionnement qui comprend : l'exploitation du centre et l'extension des galeries souterraines, où la part du poste énergie est très importante.

La part des émissions carbone relatives à la phase des aménagements préalables est négligeable, environ 1 % du projet global Cigéo.

De manière plus fine, il est possible d'identifier les sous-postes les plus significatifs, dans l'ordre de leurs poids significatifs :

- la consommation de gazole non routier : il s'agit de la consommation des engins thermiques de chantier, nécessaires pour l'ensemble des travaux de construction, terrassements, creusements des galeries, autres travaux ;
- la consommation d'électricité : il s'agit de la consommation électrique de tous les équipements inhérents au fonctionnement du projet global Cigéo (ventilation et traitement de l'air des ouvrages souterrains, exploitation au sein des bâtiments, manutention des colis…) ;
- l'emploi du ciment : il s'agit du constituant qui est employé dans le béton des différents ouvrages, aussi bien pour les ouvrages souterrains, que pour les bâtiments de surfaces ou autres éléments en béton ;
- l'emploi des aciers de ferraillage : il s'agit des armatures en acier dans le cas des ouvrages en béton armé.
- le gaz : il s'agit de la consommation de gaz à l'échelle du projet pour la production de chaleur.

À eux cinq, ces sous-postes représentent 70 % des émissions du centre de stockage Cigéo.

Ainsi, le bilan carbone du projet global Cigéo est Inférieur à 10 millions teq CO_2 au total, de la conception à la fermeture de centre de stockage. Cela équivaut à environ 67 000 teq CO_2 par an pendant 150 ans, soit près de 0,02 % des émissions annuelles nationales[3] (8). Le bilan carbone du projet global Cigéo peut également être mis en perspective des émissions de CO2 liées à la production d'électricité d'origine nucléaire, dont il ne représente que 4 à 9 %[4].

La démarche de réduction des émissions de GES va se poursuivre dans le cadre des études et également durant toute la durée de vie des installations du projet, toujours dans l'objectif de trouver le juste équilibre entre la priorité faite à la garantie de sûreté du projet d'une part, et la réduction des émissions de gaz à effet de serre d'autre part.

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle faible sur les émissions de gaz à effet de serre.

Aucune mesure compensatoire spécifique au bilan carbone n'est prévue.

[3] Émissions du projet global Cigéo (10Mt CO2e) en moyenne annuelle sur 150 ans divisée par les émissions annuelles françaises issues de l'inventaire national (traitements SDES de 2019 sur données 2018), hors importations (425 millions de teq CO2 par an) : 67 000/425 000 000 = 0,02 %.

[4] Valeur de référence filière : 5,71g - 11g de CO2e/kWh (sources : Base Carbone de l'ADEME version 16.0 et base EcoInvent version 3.6) soit 114-220 Mt eq CO2e pour 50 ans de production électronucléaire correspondant à 20 000 TWh de l'inventaire de référence : 10/114 = 8,7 % arrondi à 9 % et 10/220 = 4,7 % arrondi à 4 %.

2.3.4 Synthèse des incidences et mesures relatives à l'énergie et aux émissions de GES

Le tableau 2-7 synthétise les mesures mises en œuvre afin de limiter les impacts sur les émissions de gaz à effet de serre.

Tableau 2-7 Synthèse des mesures mises en œuvre pour limiter les émissions de gaz à effet de serre dans le cadre du projet global Cigéo

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effet attendu de la mesure	Modalités de suivi	MOA	
Émissions de GES	**Émissions de GES : Niveau d'incidences potentielles : Notable**						
	Évitement partiel des zones boisées	E	APR, CI, F	Conservation des puits de carbone	Suivi de la répartition de l'occupation des sols et notamment des surfaces boisées	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Intégration des évolutions technologiques dans la conception du projet	R	APR, CI, F	Réduction de l'empreinte carbone	Suivi régulier du bilan carbone depuis la conception jusqu'à la fermeture	Andra	Centre de stockage Cigéo
						CD52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
	Desserte du centre de stockage par train	R	CI, F	Évitement des émissions de GES liés au transport	Suivi des trafics de trains et de camions accédant au centre de stockage Cigéo	Andra	Centre de stockage Cigéo
			F			SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
	Maintien et restitution des capacités de séquestration carbone	R	CI, F	Augmentation de la séquestration carbone	Suivi de la répartition de l'occupation des sols, notamment des surfaces végétalisées	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Réduction des besoins en matériaux et utilisation de matériaux bas carbone	R	APR, CI, F	Réduction de l'empreinte carbone	Suivi des quantités et types de matériaux consommés	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Utilisation rationnelle de l'énergie	R	APR, CI, F	Réduction des consommations d'énergie	Surveillance des consommations d'énergie	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Recours aux énergies renouvelables pour les consommations énergétiques du centre de stockage Cigéo	R	CI, F	Réduction de l'empreinte carbone	Suivi des puissances d'énergies renouvelables installées	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Réduction des émissions liées aux engins et véhicules thermiques	R	APR, CI, F	Réduction des consommations énergétiques et émissions de GES	Contrôle du bon entretien des véhicules et engins Suivi des consommations énergétiques des engins de chantier afin d'assurer un contrôle et une utilisation rationnelle des équipements	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Surveillance et maintenance des équipements contenant des fluides frigorigènes	R	CI, F	Réduction des émissions de GES	Contrôles d'étanchéité des équipements frigorifiques ou climatiques Inventaire des équipements et stockage fixes susceptibles d'être à l'origine des émissions de gaz à effet de serre fluorés Registre de suivi des opérations de dégazage	Andra	Centre de stockage Cigéo
						RTE	Alimentation électrique

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effet attendu de la mesure	Modalités de suivi	MOA	
	Critères de sobriété énergétique permettant de choisir les entreprises	R	APR, CI, F	Réduction de l'empreinte carbone	Suivi des mesures annoncées dans les offres des entreprises Suivi des consommations énergétiques des engins de chantier afin d'assurer un contrôle et une utilisation rationnelle des équipements	CD52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
						Andra	Centre de stockage Cigéo
	R2.1c – Optimisation de la gestion des déchets	R	APR, CI, F	Réduction de l'empreinte carbone par la valorisation et le recyclage des déchets	Suivi des tonnages de déchets acheminés vers les différentes filières Tenue et maintien à jour d'un registre déchets	CD52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
						Andra	Centre de stockage Cigéo
	R2.1c – Optimisation de la gestion des déchets	R	APR, CI, F	Réduction de l'empreinte carbone par la valorisation et le recyclage des déchets	Suivi des tonnages de déchets acheminés vers les différentes filières Tenue et maintien à jour d'un registre déchets	CD52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
	Émissions de GES : Niveau d'incidences résiduelles : Faible						

Le projet global Cigéo vient s'insérer dans un environnement rural, dominé par des espaces agricoles et forestiers. Les espaces forestiers bénéficient d'un fort pouvoir de séquestration carbone.

Dès la phase des aménagements préalables (et jusqu'au démantèlement des installations), les sources de contribution aux émissions de gaz à effet de serre correspondent aux consommations énergétiques (électricité, hydrocarbures pour les engins et les frets internes), aux besoins en matières premières principales (en particulier le béton et l'acier), aux transports, aux déplacements de personnels et aux surfaces artificialisées. Ce sont les phases de construction initiale et de fonctionnement du centre de stockage Cigéo qui présentent le plus d'émissions de gaz à effet de serre.

En termes de mesures d'évitement, le choix a été fait de répartir la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo entre des espaces forestiers et des espaces agricoles. Ainsi, plusieurs centaines d'hectares de forêts ne sont pas défrichées et conservent leur capacité de séquestration du carbone, qui est bien supérieure à celles des terrains cultivés.

Des mesures de réduction sont mises en œuvre : l'amélioration continue du bilan carbone au cours des prochaines phases de conception et durant son fonctionnement afin que le projet global Cigéo bénéficie des évolutions technologiques qui seront mises en place dans le contexte d'une économie globalement décarbonée portée par la stratégie nationale bas carbone, la desserte du centre de stockage par train, le maintien et la restitution des capacités de séquestration carbone, la réduction des besoins en matériaux, l'utilisation matériaux à faible émission, l'utilisation rationnelle de l'énergie, le recours aux énergies renouvelables, la réduction des émissions liées aux engins et véhicules thermiques, la surveillance et la maintenance des équipements contenant des fluides frigorigènes ou encore l'optimisation de la gestion des déchets.

Après ces mesures, le bilan carbone est de l'ordre de 10 millions teqCO_2, de la phase d'aménagement préalable à la fermeture et au démantèlement du centre de stockage (soit sur une période séculaire). Les postes principaux d'émission de gaz à effet de serre sont les consommations d'énergie (électricité, gaz, gazole, essence) et la fabrication des matières premières entrantes sur le projet ou intrants (ciment, sable, gravier, béton, acier, enrobé) qui représentent plus de 80 % des émissions du projet global Cigéo.

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle faible sur les gaz à effet de serre.

2.4 Qualité de l'air

Le projet global Cigéo engendre des émissions de substances dans l'air de type conventionnel et radiologique. Les incidences sur la santé sont développées au volume VI de la présente étude d'impact. Les effets sur la biodiversité des émissions conventionnelles et radiologiques sont développés au chapitre 6 du présent volume.

2.4.1 Émissions conventionnelles

2.4.1.1 Incidences potentielles

Les substances émises peuvent être des gaz ou des particules (poussières).

Les sources d'émission retenues pour l'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air sont de trois types :

- sources linéiques dues aux véhicules circulant sur le site et sur le réseau principal (routes nationales et départementales) ;
- sources surfaciques liées à la présence d'engins de chantier et de stocks de matériaux à l'air libre ;
- sources canalisées liées émissaires des bâtiments du centre de stockage Cigéo.

La liste des gaz et particules considérés sont ceux susceptibles d'être émis en quantité plus ou moins importante à au moins une des phases du projet global Cigéo et lien avec l''article R. 221 1 du code de l'environnement.

Les substances retenues dans le cadre de l'évaluation des incidences sur la qualité de l'air, sont :

- le monoxyde de carbone (CO), émis principalement par les véhicules et les engins de chantier ;
- les oxydes d'azote (NO_x) émis principalement par les véhicules, les engins de chantier et les chaudières ;
- les oxydes de soufre (SO_x) émis essentiellement par les chaudières ;
- les particules ; susceptibles d'être principalement émises lors des travaux de terrassement et du transport. Les particules sont classées en fonction de leur taille qui conditionne leurs effets sur la santé notamment ou leur capacité à rester en suspension dans l'air :
  - ✓ les PM_{10} : particules dont le diamètre est inférieur à 10 microns (µm), soit 0,01 mm ;
  - ✓ les $PM_{2,5}$: particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 microns (µm), soit 0,0025 mm.

Les hydrocarbures, notamment les composés organiques volatiles (COV) au travers de l'étude du benzène sont pris en compte afin d'évaluer les risques sanitaires (cf. Chapitre 3 du présent volume). Les COV sont principalement émis par les véhicules et engins de chantier.

L'ozone et les métaux (plomb, cadmium, nickel et arsenic), bien qu'indiqués dans l'article R. 221-1 du code de l'environnement, et l'hexafluorure de soufre ne sont pas retenues dans le cadre de l'évaluation des incidences sur la qualité de l'air. Les raisons sont détaillées au chapitre 2.4.1.2 du présent volume.

Le tableau 2-8 synthétise les incidences potentielles du projet global Cigéo sur les émissions conventionnelles.

Compte tenu de son ampleur et de sa durée, le projet global Cigéo est susceptible d'avoir une incidence notable sur la qualité de l'air.

Pour l'opération d'expédition et transport des colis de déchets radioactifs, l'incidence potentielle sur la qualité de l'air est considérée non notable du fait des faibles trafics considérés sur des infrastructures de transport existantes.

Les incidences potentielles des opérations d'alimentation électrique et d'adduction d'eau ne concernent que la phase APR.

Tableau 2-8 Incidences potentielles des émissions conventionnelles du projet global Cigéo sur la qualité de l'air

Incidences potentielles	Centre de stockage Cigéo	Alimentation électrique	Adduction d'eau	Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000	Déviation de la route départe-mentale D60/960	Expédition et transport des colis de déchets radioactifs
Émissions conventionnelles	APR, CI, F	APR	APR	APR, CI, F	APR, CI, F	

En orange : incidence potentielle notable ; en bleu : incidence potentielle non notable
***APR** : aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement*

La figure 2-6 et le tableau 2-9 simplifié, issus du rapport de l'Ademe « Qualité de l'air et émissions polluantes des chantiers du BTP » (9) daté de 2017, présentent les conséquences de la pollution de l'air sur l'environnement (l'eau, les sols, la faune et la flore), la santé humaine, l'agriculture et le patrimoine bâti (salissure).

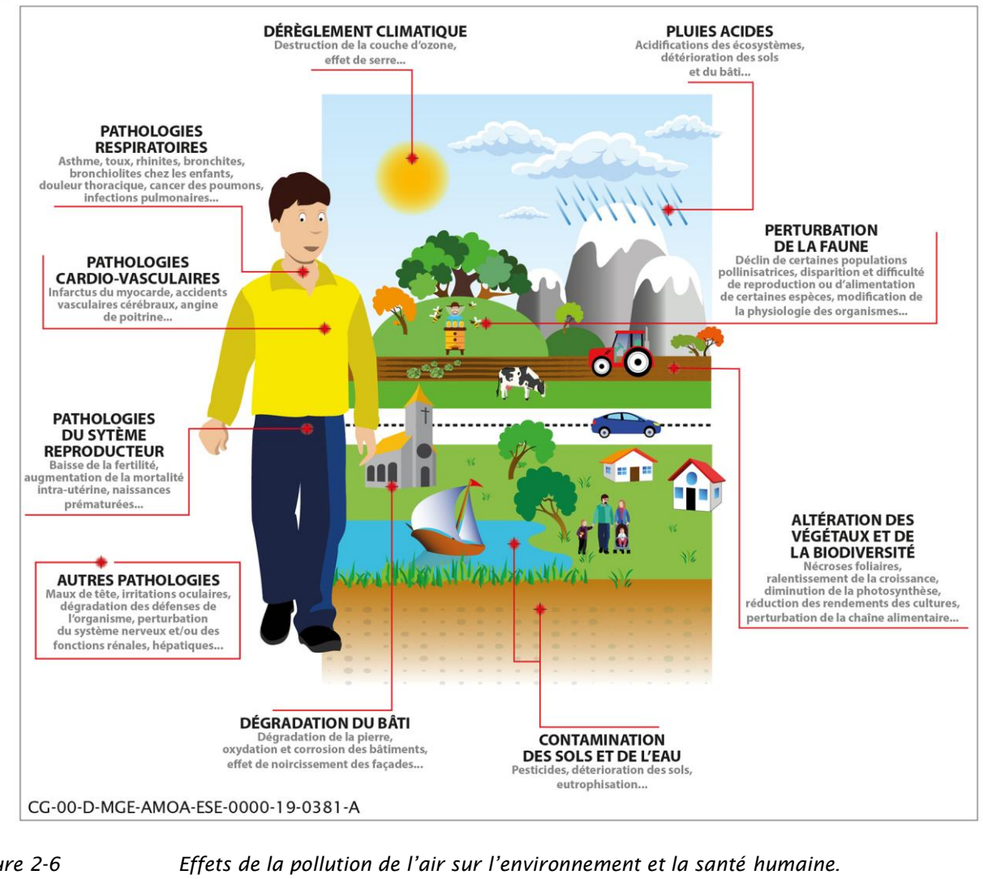


Figure 2-6 *Effets de la pollution de l'air sur l'environnement et la santé humaine.*

Tableau 2-9 Principaux effets de la pollution atmosphérique sur l'environnement et la santé humaine

Substances	Effets observés sur l'environnement					
	Sol	Eau	Flore	Faune	Santé humaine	Agriculture Bâti
Poussières ($PM_{2,5}$ et PM_{10})	• acidification du pH du sol par déposition de poussières et de substances adsorbées ; • pollution du sol par dépôt atmosphérique ou écoulement pluvial ; • impact sur les communautés microbiennes et fongiques du sol et altération du cycle des nutriments.	• augmentation de la matière en suspension et de la matière dissoute dans les eaux de surface ; • acidification du pH due à la dilution dans l'eau des SO_x et NO_x adsorbés sur les poussières ; • apport de métaux qui étaient absorbés sur les poussières ; • création d'un film sur les eaux stagnantes.	• réduction de l'évapotranspiration et de la photosynthèse ; • augmentation de la fréquence des maladies des plantes et d'infection par des espèces nuisibles ; • réduction de l'efficacité des pesticides ; • atteinte aux feuilles par déposition de substances adsorbées (soufre acide, métaux) (exposition aigue) ; • réduction de la croissance, floraison et reproduction des plantes.	• perturbation de l'écosystème aquatique ; • effets oxydatifs sur les mammifères et les poissons (pour les $PM_{2,5}$ et PM_{10}).	Voir chapitre 4.2 du volume VI de la présente étude d'impact	• légère baisse éventuelle de rendement des cultures ; • salissures des façades, des vitres.
NO_x dont NO_2)	• acidification (directe ou indirecte *via* pluie acide) ; • contribution à la concentration de nitrates dans le sol.	• acidification du pH ; • eutrophisation.	• lésions acides directe ou indirecte *via* pluies acides (pH < 3) ; • lésions nécrotiques et défoliation excessive des feuilles.	• atteintes à l'appareil pulmonaire des oiseaux ; • atteintes à la survie des poissons par acidification de l'eau.		
SO_x (dont SO_2)	• acidification (directe ou indirecte *via* pluie acide)	• acidification du pH	• lésions acides directe ou indirecte *via* pluies acides ; • blocage de la photosynthèse ; • lésions nécrotiques des feuilles – Perte de chlorophylle, altération de la couleur.	• atteintes à l'appareil pulmonaire des oiseaux ; • effets sur la diversité, densité, croissance, taille, survie et reproduction des poissons par acidification de l'eau.		
COV	• adsorption sur les minéraux et particules du sol	• adsorption sur les sédiments	• bioaccumulation ; • croissante réduite de certaines plantes.	• lésions cancérigènes chez les mammifères et les poissons – Bioaccumulation ; • déficience reproductive chez les invertébrés.		

2.4.1.2 Mesures d'évitement et de réduction

2.4.1.2.1 Mesures d'évitement

a) Verses issues du creusement de l'installation souterraine principalement remontées sur la zone puits

Mesure d'évitement – E2.1z : verses issues du creusement de l'installation souterraine principalement remontées sur la zone puits			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB (ZP)	CI, F

Les verses issues du creusement de l'installation souterraine sont principalement remontées sur la zone puits afin d'éviter les substances et les poussières émises par les rotations de camions entre la zone descenderie et la zone puits (cf. Chapitre 2.4.1 du volume II de la présente étude d'impact).

Modalité de suivi

Un suivi des plans d'exécution sera réalisé durant toutes les phases de construction initiale et de fonctionnement.

b) Mise en place d'une bande transporteuse semi-enterrée entre la zone descenderie et la zone puits

Mesure d'évitement – E3.1a : mise en place d'une bande transporteuse semi-enterrée entre la zone descenderie et la zone puits			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, LIS)	CI, F

Afin d'éviter les substances et les poussières émises par les rotations de camions, une bande transporteuse semi-enterrée est construite. Elle sert pour le transport des matériaux entre les zones puits et descenderie. Ses caractéristiques sont décrites dans le volume II de la présente étude d'impact. Cette bande transporteuse est utilisée en phase de construction initiale et au besoin en phase de fonctionnement.

Modalité de suivi

Un suivi des volumes de matériaux transportés par la bande transporteuse sera réalisé.

c) Réutilisation de l'ancienne plateforme ferroviaire et de la ligne ferroviaire 027000

Mesure d'évitement – E2.1z : réutilisation de l'ancienne plateforme ferroviaire et de la ligne ferroviaire 027000			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo (ITE)	APR
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000	

Pour éviter les volumes terrassés et les quantités de poussières mises en suspension dans l'air lors des travaux, ont été réutilisées :

- l'ancienne plateforme ferroviaire pour une grande partie de l'ITE et réutilisation d'anciens terrains industriels déjà nivelés pour l'installation de la plateforme logistique de Gondrecourt-le-Château ;
- la ligne ferroviaire 027000.

Modalité de suivi

Un suivi des emprises réutilisées sera réalisé dès la conception.

d) Raccordement à la ligne électrique très haute tension la plus proche

Mesure d'évitement – E3.1a : raccordement à la ligne électrique très haute tension la plus proche			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD)	APR
	RTE	Alimentation électrique	

Le choix d'un raccordement électrique à la ligne THT existante réduit la longueur de ligne THT à créer et par conséquent la quantité de travaux à effectuer ce qui évite les émissions de substances associées aux travaux.

Modalité de suivi

Un suivi des plans d'exécution sera réalisé au démarrage des travaux.

e) Réutilisation de déblais en remblais

Mesure d'évitement – E3.1z : réutilisation de déblais en remblais			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, ITE, LIS, ZIOS)	APR, CI
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000	APR
	CD 52	Déviation de la route départementale D60/960	
	RTE	Alimentation électrique	
	SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau	

Pour le centre de stockage Cigéo, comme présenté au chapitre 1.1du présent volume, les choix de conception effectués par l'Andra pour le centre de stockage Cigéo ont abouti à l'équilibre du bilan remblai/déblai à l'issue de la phase de construction initiale du centre de stockage.

Les maîtres d'ouvrage respectifs des autres opérations ont pour objectif la réutilisation des déblais en remblais sur leur chantier ou éventuellement sur une autre opération du projet global Cigéo sous réserve des caractéristiques physiques et géotechniques des matériaux.

Ainsi, l'ensemble des terres et matériaux déblayés est utilisé en tant que remblais *in situ* à l'issue de la phase de construction initiale afin d'éviter les substances et les poussières émises par les rotations de camions.

Modalité de suivi

Un suivi des volumes de déblais réutilisés en remblais est réalisé pour l'ensemble du projet global Cigéo, permettant d'optimiser les volumes et de tracer leurs déplacements.

2.4.1.2.2 Mesures de réduction

Les mesures de réduction proposées ci-dessous permettent de réduire les incidences sur la qualité de l'air en :

- limitant les émissions de poussières à proximité des zones d'intervention potentielles ;
- réduisant les émissions des gaz d'échappements des véhicules ou des installations.

Des principes généraux en termes de management environnemental sont notamment rappelés dans la mesure R2.1z Organisation du chantier présentée dans le chapitre 3 du présent volume qui contribue à réduire les impacts sur la qualité de l'air et que viennent compléter les mesures suivantes.

a) Prise en compte des conditions météorologiques

Mesure de réduction – R.2.1.a : prise en compte des conditions météorologiques			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, LIS, ITE)	APR
	CD52	Déviation de la route départementale D60/960	
	RTE	Alimentation électrique	
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000	
	SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau	

Les conditions météorologiques seront prises en compte de façon à adapter la conduite à tenir, comme l'arrosage des pistes par temps sec.



Figure 2-7 Arrosage des pistes pour limiter l'envol de poussières par temps sec

Modalité de suivi

Les entreprises en charge des travaux suivent les alertes météorologiques (fortes pluies, périodes de sécheresse, vents importants). Il est inscrit dans les cahiers des charges des entreprises de travaux l'adaptation des activités en fonction des conditions météorologiques. Des mesures régulières de la qualité de l'air et des dépôts de poussières sur le sol sont réalisées.

Suivi des dispositions prises en vue de prévenir l'envol de poussières et de matières diverses : l'état des dispositifs de confinement est vérifié (capotages des bandes transporteuses, silos de stockage…).

b) Mise en place de dispositifs pour limiter les émissions de poussières

Mesure de réduction – R2.1z : mise en place de dispositifs pour limiter les émissions de poussières			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, LIS, ITE)	APR, CI, F
	CD52	Déviation de la RD60/960	APR
	RTE	Alimentation électrique	
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000	
	SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau	

Les installations de manipulation, transvasement, transport de produits pulvérulents sont, autant que possible, munies de dispositifs de capotage et d'aspiration. Les camions transportant des terres sont bâchés et les silos de stockage sont équipés d'un système de filtration afin de collecter et filtrer les poussières.

Modalité de suivi

Il est inscrit dans les cahiers des charges des entreprises de travaux l'adaptation de méthodes les moins émissives de poussières. Des mesures régulières des dépôts de poussières sur le sol sont réalisées.

Suivi des dispositions prises en vue de prévenir l'envol de poussières et de matières diverses : l'état des dispositifs de confinement est vérifié (capotages des bandes transporteuses, silos de stockage…).

Suivi du bon fonctionnement des dispositifs de captation, de filtration et d'épuration des rejets atmosphériques : Les dispositifs de captation, de filtration et d'épuration des rejets (effluents gazeux, poussières, odeurs) font l'objet d'une maintenance préventive et d'un contrôle régulier, afin de respecter les valeurs limites et de ne pas générer d'odeur incommodante ou nuisible. L'ensemble des opérations d'entretien et de contrôle effectuées est consigné sur un registre éventuellement informatisé et tenu à la disposition de l'administration. Pour les installations de combustion, ces opérations sont consignées dans le livret de chaufferie.

c) Gestion optimisée des déblais et remblais permettant la réduction des distances de transport des matériaux par camion

Mesure de réduction – R.2.1.a : gestion optimisée des déblais et remblais permettant la réduction des distances de transport des matériaux par camion			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, LIS, ITE)	APR

La gestion des déblais/remblais est optimisée autant que possible à l'intérieur de chacune des zones puits et descenderie. Cette gestion optimisée des terrassements limite le transport pour l'évacuation extérieure des matériaux ou à l'inverse l'approvisionnement en matériaux extérieurs.

Cela permet de limiter les émissions à la fois de poussières par roulage et de gaz de combustion.

Modalité de suivi

Les entreprises de travaux doivent établir des plans de circulation des poids lourds optimisés. Des mesures régulières des dépôts de poussières sur le sol et de la qualité de l'air sont réalisées.

Suivi des dispositions prises en vue de prévenir l'envol de poussières et de matières diverses : L'état des dispositifs de confinement est vérifié (capotages des bandes transporteuses, silos de stockage…).

d) Mise en place d'un revêtement sur les pistes principales empruntées par les véhicules

Mesure de réduction – R.2.1.a : mise en place d'un revêtement sur les pistes principales empruntées par les véhicules			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, LIS, ITE)	APR

Afin de limiter les émissions de poussière par « roulage », les revêtements des pistes principales sont réalisés sur les pistes empruntées par les véhicules.

Modalité de suivi

Le phasage des travaux intégré la mise en œuvre des revêtements des pistes. Des mesures régulières des dépôts de poussières sur le sol sont réalisées.

Suivi des dispositions prises en vue de prévenir l'envol de poussières et de matières diverses : L'état des dispositifs de confinement est vérifié (capotages des bandes transporteuses, silos de stockage…).

e) Limitation de la vitesse de circulation des véhicules

Mesure de réduction – R.2.1.a : limitation de la vitesse de circulation des véhicules			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, LIS, ITE)	APR, CI, F
	CD52	Déviation de la RD60/960	APR
	RTE	Alimentation électrique	
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000	
	SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau	

Afin de limiter les émissions de poussière par « roulage », la vitesse de circulation des véhicules est limitée sur les emprises du centre de stockage Cigéo. Pour les autres maîtres d'ouvrage, la vitesse de circulation des véhicules est limitée sur les chantiers pendant les travaux de construction. La réduction de la vitesse contribuera à réduire les envols de poussière, tout en réduisant les émissions de gaz d'échappement.

Modalité de suivi

Des contrôles de vitesse des véhicules de chantier seront réalisés régulièrement et de manière inopinée. Des mesures régulières des dépôts de poussières sur le sol sont réalisées.

f) Entretien des véhicules

Mesure de réduction – R.2.1.g : entretien des véhicules			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, LIS, ITE)	APR, CI, F
	CD52	Déviation de la route départementale D60/960	
	RTE	Alimentation électrique	
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000	
	SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau	

L'entretien des camions et engins est assuré régulièrement afin de conserver leurs performances d'origine et maintenir les émissions de substances annoncées par les constructeurs.

Modalité de suivi

Les entreprises en charge des travaux doivent mettre à disposition les cahiers de suivi et de contrôle de l'entretien des véhicules, ainsi que les contrôles des dispositifs de récupération des eaux de lavage.

g) Émissaires de rejets canalisés en hauteur

Mesure de réduction – R2.2z : émissaires de rejets canalisés en hauteur			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, ZIOS)	F

Les hauteurs des émissaires de rejets canalisés (cheminées) sont suffisantes (de l'ordre de 15 mètres) pour la bonne diffusion des rejets gazeux et fournissent ainsi des conditions de dispersion qui permettent de minimiser les incidences.

Modalité de suivi

Un plan de mesure des rejets conventionnels est élaboré et suivi tout au long de la phase de fonctionnement.

Suivi du bon fonctionnement des dispositifs de captation, de filtration et d'épuration des rejets atmosphériques : Les dispositifs de captation, de filtration et d'épuration des rejets (effluents gazeux, poussières, odeurs) font l'objet d'une maintenance préventive et d'un contrôle régulier, afin de respecter les valeurs limites et de ne pas générer d'odeur incommodante ou nuisible. L'ensemble des opérations d'entretien et de contrôle effectuées est consigné sur un registre éventuellement informatisé et tenu à la disposition de l'administration. Pour les installations de combustion, ces opérations sont consignées dans le livret de chaufferie.

S'agissant du suivi du bon fonctionnement des chaudières et réalisation des contrôles réglementaires, pour les installations de combustion comportant des chaudières :

- le respect des vitesses d'éjection des gaz est vérifié régulièrement (mesurée ou calculée grâce au débit mesuré lors de la mesure périodique de la pollution rejetée) ;
- une trace du bon fonctionnement continu du dispositif de traitement des poussières dans les gaz de combustion et du dispositif de traitement secondaire des Nox est conservée ou des informations le prouvant (par exemple suivi des concentrations à l'émission) ;
- les installations de combustion comportant des chaudières sont contrôlées et entretenues, et ces opérations sont consignées dans le livret de chaufferie.

2.4.1.2.3 Mesures de réduction spécifiques liées au dépôt et à la reprise des verses

a) Végétalisation des verses afin de réduire les surfaces soumises aux intempéries et au vent

Mesure de réduction – R2.2z : végétalisation des verses afin de réduire les surfaces soumises aux intempéries et au vent			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB (ZP)	CI, F

Le dépôt des verses représente une source d'émission de poussières en phase de construction initiale (qui se poursuivra en phase de fonctionnement).

Afin de réduire ces émissions, et leurs conséquences éventuelles sur la qualité de l'air, les verses sont progressivement végétalisées limitant ainsi les surfaces d'argiles soumises aux intempéries et au vent.

Modalité de suivi

Un suivi régulier de la superficie des verses à nue et des surfaces végétalisées sera réalisé tout au long des phases de construction initiale et de fonctionnement. En fonction des résultats de ce suivi des reprises de végétalisation seront réalisés en tant de besoin. Des mesures régulières des dépôts de poussières sur le sol seront réalisées.

b) Brumisation des verses non couvertes

Mesure de réduction – R2.2z : brumisation des verses non couvertes			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB (ZP)	CI, F

La brumisation est utilisée durant l'opération de déversement de l'argile sur la zone de dépôt afin de limiter l'envol de poussières.

Cette mesure prend effet au moment de leur dépôt au niveau de la zone puits, c'est-à-dire en phase de construction initiale. Elle continue en phase de fonctionnement sur le dépôt de verses non couvertes en zone Z2 puis éventuellement sur la zone Z3 au nord de la zone puits.

Modalité de suivi

Il est inscrit dans les cahiers des charges des entreprises de travaux l'adaptation de méthode les moins émissives de poussière. Des mesures régulières des dépôts de poussières sur le sol sont réalisées aux abords des verses.

2.4.1.3 Incidences résiduelles

La méthodologie d'évaluation des impacts sur la qualité de l'air et la réglementation définissant des objectifs de qualité de l'air sont présentées au chapitre 2.5 du volume VII de la présente étude d'impact.

Modélisations réalisées

Une modélisation de dispersion des émissions atmosphériques chimiques, réalisée à partir du logiciel ARIA Impact (10), a permis d'évaluer l'impact sur la qualité de l'air des émissions chimiques du projet global en phases de construction initiale et de fonctionnement dans l'aire d'étude rapprochée du milieu physique. La méthodologie et les principales hypothèses de cette modélisation sont détaillées au chapitre 2 du volume VII de la présente étude d'impact. Les résultats de cette modélisation sont présentés dans les chapitres suivants.

Il convient de préciser que la modélisation a été actualisée en juillet 2025 afin de prendre en compte :

- la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) fixée à 4 mg/m³ pour les poussières inhalables du décret n° 2021-1763 du 23 décembre 2021 qui permet le calcul des flux d'émissions canalisées et en particulier des puits de ventilation ;
- l'actualisation du parc de véhicules légers, de poids lourds et d'engins pour le trafic dans les emprises et hors du centre de stockage Cigéo ;
- les remarques de l'Autorité environnementale dans le cadre de l'instruction de la pièce DAE6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » des dossiers de la tranche de travaux DR0 (11).

Cette actualisation prend en compte la mise à jour des données météorologiques (2020-2024) et les données de qualité de l'air les plus récentes (pollution de fond).

Aires d'études des modélisations

Les modélisations de dispersion atmosphérique doivent couvrir un domaine d'étude suffisamment étendu pour prendre en compte les opérations du projet global (zone puits, zone descenderie, liaison intersites et routes du domaine d'étude) et intégrer les communes situées à proximité (points cibles retenus). Ce domaine d'étude porte sur un carré de 16 km de côté centré sur le point de référence localisé au centre des installations de la zone puits et de la zone descenderie. Cette surface de modélisation est suffisante pour couvrir la zone d'influence des impacts.

Grandeurs calculées

Les simulations ont été réalisées en prenant en compte les cinq années de données météorologiques complètes (de 2020 à 2024). Les grandeurs calculées correspondent aux concentrations moyennes annuelles, aux concentrations maximales journalières pour le monoxyde de carbone (percentile 100) et aux dépôts au sol. Les résultats sont donnés sous forme de cartes et de tableaux.

Cinq simulations sont réalisées pour les phases de construction initiale et de fonctionnement :

- simulation 1 : impact de la zone puits (ZP) ;
- simulation 2 : impact de la zone descenderie (ZD) ;
- simulation 3 : impact lié à la liaison intersites (LIS) ;
- simulation 4 : impact lié aux routes départementales (trafic) ;
- simulation 5 : impact lié à l'ensemble des sources (ZP + ZD + LIS + trafic) incluant la pollution de fond.

L'unité retenue pour exprimer les concentrations de substances dans l'air est le µg/m³ (microgramme par mètre cube). Pour les dépôts au sol, l'unité retenue est le mg/m²/jour.

Les concentrations sont calculées au niveau du point le plus exposé en dehors du site (en termes de concentrations volumiques dans l'air), ainsi qu'au niveau des points cibles retenus. Les points cibles retenus sont des points récepteurs définis en fonction de l'aire d'étude (communes, et maillage de l'aire d'étude).

Pollution de fond

Les résultats de la modélisation tiennent compte des émissions détaillées dans le chapitre 2 du volume VII de la présente étude d'impact. La pollution de fond est présentée dans le chapitre 2 du volume VII de la présente étude d'impact. Cette pollution de fond a été ajoutée aux résultats de la modélisation pour estimer l'incidence cumulée à la pollution de fond.

Réglementation de la qualité de l'air

Les concentrations calculées sont comparées aux normes de surveillance de la qualité de l'air exprimées en moyenne annuelle et rappelées au chapitre 2 du volume III de la présente étude d'impact, ainsi que dans les différents tableaux suivants présentant les résultats des modélisations. Les définitions ci-après sont celles données par l'article R. 221-1 du code de l'environnement.

OBJECTIF DE QUALITÉ

Un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.

VALEUR LIMITE

Un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.

VALEUR CIBLE

Un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.

2.4.1.3.1 En phase d'aménagements préalables

Les activités menées en phase d'aménagements préalables sont principalement :

- pour le centre de stockage, des activités de terrassements qui permettront de réaliser les plateformes qui accueillent les installations construites en phase de construction initiale ;
- pour les autres opérations du projet global, des activités de terrassement puis de construction des infrastructures, équipements et superstructures nécessaires à leur mise en service.

Sur les zones puits et descenderie, le détail des activités susceptibles d'engendrer un impact sur la qualité de l'air est précisé ci-dessous :

- les opérations de défrichement : le broyage des branchages peut entraîner l'envol de particules. Cependant, l'envol de particules lié à ce type d'opération est limité en distance. Les copeaux et broyats génèrent des particules essentiellement de grosse taille, qui se déposent rapidement ;
- les opérations de terrassements et d'excavations incluant des opérations de criblage, de concassage des matériaux ainsi que le déplacement et le stockage des matériaux excavés, le creusement de tranchées pour le passage des différents réseaux et l'utilisation d'explosifs ;
- les éventuelles opérations de traitement des sols aux liants hydrauliques (chaux) ;
- la circulation de véhicules et d'engins de chantier ;
- le fonctionnement des installations de production de béton et de mortier nécessaires à la construction des infrastructures ;
- le fonctionnement de l'installation de la centrale d'enrobage qui permet de produire le revêtement des pistes de circulation ;
- les zones de stockage des matériaux utiles aux besoins du chantier.

Les travaux de réalisation de la liaison intersites, de l'installation terminale embranchée, de l'alimentation électrique, de l'adduction d'eau, de la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et de la déviation de la route départementale D60/960 sont à l'origine de mises en suspension de poussières dans l'air et d'émissions de gaz de combustion en lien avec l'utilisation d'engins de chantier et de véhicules. Toutefois les chantiers concernent des surfaces moins importantes que les zones puits et descenderie et se font sur des durées plus courtes. Les émissions sont donc faibles au regard de celles émises sur les zones puits et descenderie.

Lors des travaux de caractérisation et de surveillance environnementale, les principales activités susceptibles d'engendrer un impact sur la qualité de l'air sont :

- la réalisation des lignes de tranchée et leur remblayage à la pelle mécanique lors des travaux de diagnostics archéologiques ;
- le décapage et le remblayage à la pelle mécanique lors des travaux de fouille ;
- les machines de forage et pelles mécaniques utilisées pour la réalisation des forages, sondages et piézomètres ;
- la circulation de véhicules sur tous les chantiers.

Le rapport de l'Ademe intitulé « Qualité de l'air et émissions polluantes des chantiers du BTP » (9) daté de 2017 indique que le secteur du BTP représente une part importante des émissions de polluants atmosphériques en particulier pour les poussières et les COV.

C'est donc en phase d'aménagements préalables, aux abords des zones puits et descenderie, que la qualité de l'air est susceptible d'être dégradée par une augmentation de la concentration en poussières et en COV émis principalement par les véhicules et les engins de chantiers, et par la centrale d'enrobage de la zone descenderie (cette centrale d'enrobage fonctionnant de façon discontinue quelques mois par an uniquement pendant la phase d'aménagements préalables).

Les substances associées à chaque source de la phase d'aménagements préalables (APR) sont détaillées dans le tableau 2-10.

Tableau 2-10 Recensements des sources d'émissions atmosphériques en phase d'aménagements préalables

Source d'émission	Substances émises	Installations du projet global Cigéo
Terrassements dont les opérations d'archéologie préventive	Poussières (PM10, PM2.5)	Zone descenderie, zone puits
		ITE, alimentation électrique, liaisons intersites, déviation de la route départementale D60/960, adduction d'eau, mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000
Machines de forage et pelles mécaniques pour la réalisation de forages, sondages et piézomètres	Poussières (PM10, PM2.5), Nox, CO, HC (dont COV)	Zone descenderie, zone puits ITE, alimentation électrique, liaisons intersites, déviation de la route départementale D60/960, adduction d'eau, mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000
Défrichement	Poussières (PM10, PM2.5), Nox, CO, HC (dont COV)	Zone puits
Tirs d'explosifs	CO, Nox, Sox, NH_3	Zone descenderie, zone puits
Concasseur	Poussières (PM10, PM2.5)	Zone puits, zone descenderie
Circulation des véhicules (et engins de chantiers) – échappement des véhicules	Nox, CO, HC (dont COV), B(a)P, particules fines	Zone descenderie, zone puits
		Travaux : ITE, alimentation électrique, liaison intersites, déviation de la route départementale D60/960, adduction d'eau, mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000

Source d'émission	Substances émises	Installations du projet global Cigéo
Circulation des véhicules et engins de chantiers – Remise en suspension des poussières par passage des véhicules	Poussières (PM10, PM2.5)	Zone descenderie, zone puits
		ITE, alimentation électrique, liaisons intersites, déviation de la route départementale D60/960, adduction d'eau, mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000
Centrale d'enrobage	Sox, Nox, CO, HC (dont COV et HAP), métaux, particules fines	Zone descenderie
Centrale à béton	Poussières (PM10, PM2.5)	Zone descenderie, zone puits
Centrale à mortier	Poussières (PM10, PM2.5)	Zone descenderie, zone puits
Stockage de matériaux	Poussières (PM10, PM2.5)	Zone puits, zones descenderie

Une fois que les modalités de travaux sur les zones puits et descenderie sont définies dans leurs grands principes, une quantification des poussières et COV pourra être réalisée pour la phase la plus pénalisante d'aménagements préalables, en tenant compte des étapes de travaux, des nombres et des types d'engins, des cadences. Ces éléments seront affinés et successivement présentés dans les différents dossiers d'autorisation relatifs aux travaux en phase d'aménagement préalable.

2.4.1.3.2 En phase de construction initiale

a) Sources et quantification des émissions en phase de construction initiale

La phase de construction initiale comprend principalement les travaux de gros œuvre du centre de stockage Cigéo. Les autres opérations du projet global sont en fonctionnement.

Le détail des activités susceptibles d'engendrer des incidences sur la qualité de l'air en phase de construction initiale est précisé ci-dessous :

- les opérations de terrassements et d'excavations incluant des opérations de criblage, de concassage des matériaux ainsi que le déplacement et le stockage des matériaux excavés, le creusement de tranchées pour le passage des différents réseaux et l'utilisation d'explosif ;
- la circulation de véhicules et d'engins de chantier ;
- le fonctionnement des installations de production de béton et de mortier nécessaires à la construction des infrastructures ;
- les zones de stockage des matériaux excavés ou utiles aux besoins du chantier, dont les verses ;
- le creusement des liaisons surface-fond (puits et descenderie) ;
- Les activités réalisées au sein des ateliers de maintenance (mécaniques, chaudronnerie, menuiserie...).

En phase de construction initiale, les modélisations concernent les émissions de la zone de descenderie, de la zone puits, de la liaison intersites et les émissions sur le réseau routier principal emprunté par les véhicules liés au projet global Cigéo.

Dans cette modélisation, les émissions suivantes n'ont pas été prises en compte :

- les émissions des tirs d'explosifs car elles sont très faibles, localisées et de courte durée ;
- les postes de transformation électrique car ils n'émettent des substances qu'en situation accidentelle ;
- les sources liées aux chaudières biomasse en phase de construction initiale n'ont pas été retenues car elles ne fonctionnent que temporairement, pendant les périodes les plus froides, pour maintenir une température compatible avec le fonctionnement des centrales à béton ;
- l'installation terminale embranchée et la voie ferroviaire 027000 du fait de l'absence de données consolidées à ce stade des études. Pour ces deux projets, les émissions attendues sont très faibles au regard des activités listées dans le présent chapitre.

En phase de construction initiale (CI), les substances associées à chaque source sont détaillées dans le tableau 2-11.

Tableau 2-11 Recensements des sources d'émissions atmosphériques en phase de construction initiale

Source d'émission	Substances émises	Installations du projet global Cigéo
Circulation de véhicules (gaz d'échappements)	CO, NOx, COV, PM10, PM2.5, BaP	Zone descenderie, zone puits, LIS, routes départementales
Circulation de véhicules (roulage)	PM10, PM 2.5	Zone descenderie, zone puits, LIS, routes départementales
Engins de chantier (gaz d'échappement)	CO, NOx, COV, PM10, PM2.5	Zone descenderie, zone puits (dont verses)
Engins de chantier (activités de chantier et roulage)	PM10, PM 2,5	Zone descenderie, zone puits (dont verses)
Stockage des matériaux/terrains mis à nu	PM10, PM2.5	Zone descenderie, zone puits (dont verses)
Centrale à béton/mortier	PM10, PM2.5	Zone descenderie, zone puits
Atelier de maintenance (atelier mécanique)	Nox, CO, COV, , SOx et PM10 et PM2.5	Zone descenderie
Creusement (descenderie service, descenderie colis, puits air vicié (VVT), puits air vicié exploitation (VVE)).	PM10, PM2.5, NOx, CO, COV	Zone descenderie, zone puits

La localisation des sources, les caractéristiques des émissions, des points de rejet et des flux pour chacune des sources, ainsi que le bilan des émissions sont présentés dans le chapitre 2 du volume VII de la présente étude d'impact.

La contribution de chaque zone est très variable selon les substances. La zone descenderie contribue majoritairement aux émissions globales dans la mesure où elle représente 56 % des émissions en moyenne pour toutes les substances en phase de construction initiale.

Les contributions de la liaison intersites et du trafic routier extérieur au site sont négligeables devant les zones puits et descenderie pour toutes les substances.

b) Concentration dans l'air des émissions conventionnelles en phase de construction initiale

Le tableau 2-12, le tableau 2-13 et le tableau 2-14 suivants présentent les résultats de concentration en moyenne annuelle pour la phase de construction initiale, pour les simulations 1, 2 et 5 et pour chaque substance étudiée. La simulation 5 prend en compte toutes les sources d'émissions (simulations 1 à 4). Les résultats sont présentés au niveau des points cibles.

Le code couleur bleu foncé indique un dépassement des seuils réglementaires.

Zone puits

Tableau 2-12 Concentrations en moyenne annuelle – Incidences liées à la zone puits (ZP) en phase de construction initiale

	Substances						
	CO	NOx	SO_2	PM10	PM2.5	COV	Benzène
Points cibles	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
Bure	2,25	0,66	-	1,04	0,50	0,16	0,12
Bonnet	0,58	0,17	-	0,29	0,13	0,04	0,03
Gillaumé	0,33	0,10	-	0,14	0,07	0,02	0,02
École Houdelaincourt	0,30	0,09	-	0,16	0,07	0,02	0,01
Mandres-en-Barrois	0,81	0,23	-	0,34	0,16	0,06	0,04
Ribeaucourt	0,41	0,12	-	0,27	0,09	0,03	0,02
Saudron	0,74	0,21	-	0,40	0,16	0,05	0,04
Hôtel du Bindeuil	0,64	0,18	-	0,28	0,13	0,04	0,03
École Échenay	0,23	0,07	-	0,11	0,05	0,02	0,01
Natura 2000	1,51	0,43	-	0,79	0,31	0,10	0,07
ZNIEFF	49,90	15,20	-	14,30	11,00	3,60	3,18
Valeurs réglementaires françaises :							
• objectif de qualité ;	-	40	50	30	10	-	2
• valeur limite ;	10 000*	40	-	40	25	-	5
• valeur cible.	-	-	-	-	20	-	-

** La valeur réglementaire pour le CO est la valeur limite réglementaire est de 10 000 µg/m³ pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur huit heures.*

Les concentrations maximales dans l'aire d'étude en dehors du centre de stockage Cigéo sont situées en limite de site dans des zones non habitées.

Zone descenderie

Tableau 2-13 Concentrations en moyenne annuelle – Incidences liées à la zone descenderie (ZD) en phase de construction initiale

	Substances						
	CO	NOx	SO_2	PM10	PM2.5	COV	Benzène
Points cibles	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
Bure	1,89	0,59	0,08	1,22	0,68	0,41	0,35
Bonnet	0,31	0,10	0,01	0,13	0,10	0,06	0,05
Gillaumé	1,00	0,30	0,03	0,73	0,34	0,17	0,14
École Houdelaincourt	0,16	0,05	0,00	0,07	0,05	0,03	0,02
Mandres-en-Barrois	0,72	0,23	0,02	0,39	0,25	0,14	0,12
Ribeaucourt	0,49	0,15	0,02	0,24	0,16	0,10	0,08
Saudron	1,23	0,34	0,05	0,91	0,38	0,24	0,18
Hôtel du Bindeuil	6,49	2,15	0,23	5,91	2,97	1,19	1,01
École Échenay	0,49	0,15	0,02	0,30	0,16	0,09	0,07
Natura 2000	0,34	0,11	0,01	0,14	0,10	0,07	0,06
ZNIEFF	1,01	0,33	0,04	0,51	0,35	0,21	0,18
Valeurs réglementaires françaises :							
• objectif de qualité ;	-	40	50	30	10	-	2
• valeur limite ;	10 000*	40	-	40	25	-	5
• valeur cible.	-	-	-	-	20	-	-

** La valeur réglementaire pour le CO est la valeur limite réglementaire est de 10 000 µg/m³ pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur huit heures.*

Les concentrations maximales dans l'aire d'étude en dehors du centre de stockage Cigéo sont situées en limite de site à proximité de l'hôtel du Bindeuil.

Zone puits (ZP) + Zone descenderie (ZD) + Liaison intersites (LIS) + Trafic avec l'intégration de la pollution de fond

Tableau 2-14 Concentrations en moyenne annuelle – Incidences cumulées (ZP + ZD + LIS + Trafic) en phase de construction initiale

	Substances							
	CO	NOx	SO_2	PM10	PM2.5	COV	Benzène	Benzo(a)pyrène
Points cibles	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
1. Bure	124,20	4,74	1,08	13,67	8,58	0,91	0,81	3,5E-07
2. Bonnet	120,91	3,70	1,01	11,76	7,59	0,44	0,42	1,1E-07
3. Gillaumé	121,34	3,81	1,03	12,14	7,75	0,53	0,49	6,4E-08
4. École Houdelaincourt	120,49	3,59	1,00	11,61	7,49	0,39	0,38	1,4E-07
5. Mandres-en-Barrois	121,56	3,93	1,02	12,14	7,81	0,53	0,49	2,2E-07
6. Ribeaucourt	120,93	3,73	1,02	11,83	7,61	0,47	0,44	2,4E-07
7. Saudron	122,02	4,04	1,05	12,73	7,93	0,63	0,56	2,8E-07
8. Hôtel du Bindeuil	127,23	5,89	1,23	17,97	10,59	1,58	1,38	5,7E-07
9. École Échenay	120,74	3,65	1,02	11,68	7,56	0,44	0,42	8,5E-08
10. Natura 2000	121,86	3,95	1,01	12,19	7,76	0,51	0,47	4,8E-08
11. ZNIEFF	170,94	18,98	1,04	26,33	18,76	4,15	3,70	1,7E-07
Pollution de fond	120,00	3,40	1,00	11,20	7,33	0,34	0,34	-
Valeurs réglementaires françaises :								
• objectif de qualité ;	-	40	50	30	10	-	2	
• valeur limite ;	10 000*	40	-	40	25	-	5	
• valeur cible.	-	-	-	-	20	-	-	1,0E-06

** La valeur réglementaire pour le CO est la valeur limite réglementaire est de 10 000 µg/m³ pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur huit heures*

D'après les modélisations de dispersion atmosphérique en phase de construction initiale, les concentrations de substances toxiques chimiques au niveau des établissements accueillant du public ou population sensible recensés dans l'aire d'étude rapprochée du milieu physique du projet global restent inférieures aux normes de qualité de l'air, sauf pour les PM2,5 à l'hôtel de Bindeuil où la concentration (10,59 µg/m³) est très légèrement au-dessus de l'objectif de qualité (10 µg/m³), sachant que la pollution de fond (7,33 µg/m³) est prépondérante dans le niveau atteint.

Les concentrations en PM2.5 et en benzène sont très localement supérieures aux normes de qualité de l'air, uniquement dans des zones agricoles non habitées en limite de la zone puits et au niveau de la zone ZNIEFF.

Les cartographies montrent que les concentrations les plus élevées sont situées à l'intérieur des limites du de site, sur les zones puits et descenderie selon les substances étudiées.

L'impact lié à la liaison intersites et au trafic sur le réseau routier principal est négligeable vis-à-vis de l'impact lié aux zones descenderie et puits.

La figure 2-8, la figure 2-9, la figure 2-10, la figure 2-11 et la figure 2-12 présentent les concentrations pour les cinq substances qui présentent des valeurs réglementaires : NO_x, SO_2, PM10, PM2.5 et benzène.

Les aplats colorés montrent les zones où les concentrations au niveau du sol sont comprises entre deux valeurs. Lorsque les cartographies ne montrent aucun aplat coloré, cela signifie que le projet émet des concentrations inférieures aux valeurs réglementaires en tout point du domaine d'étude, y compris au plus près des sources d'émissions.

Le projet global Cigéo n'engendre pas de dégradation de la qualité de l'air ; l'impact est faible en phase de construction initiale.

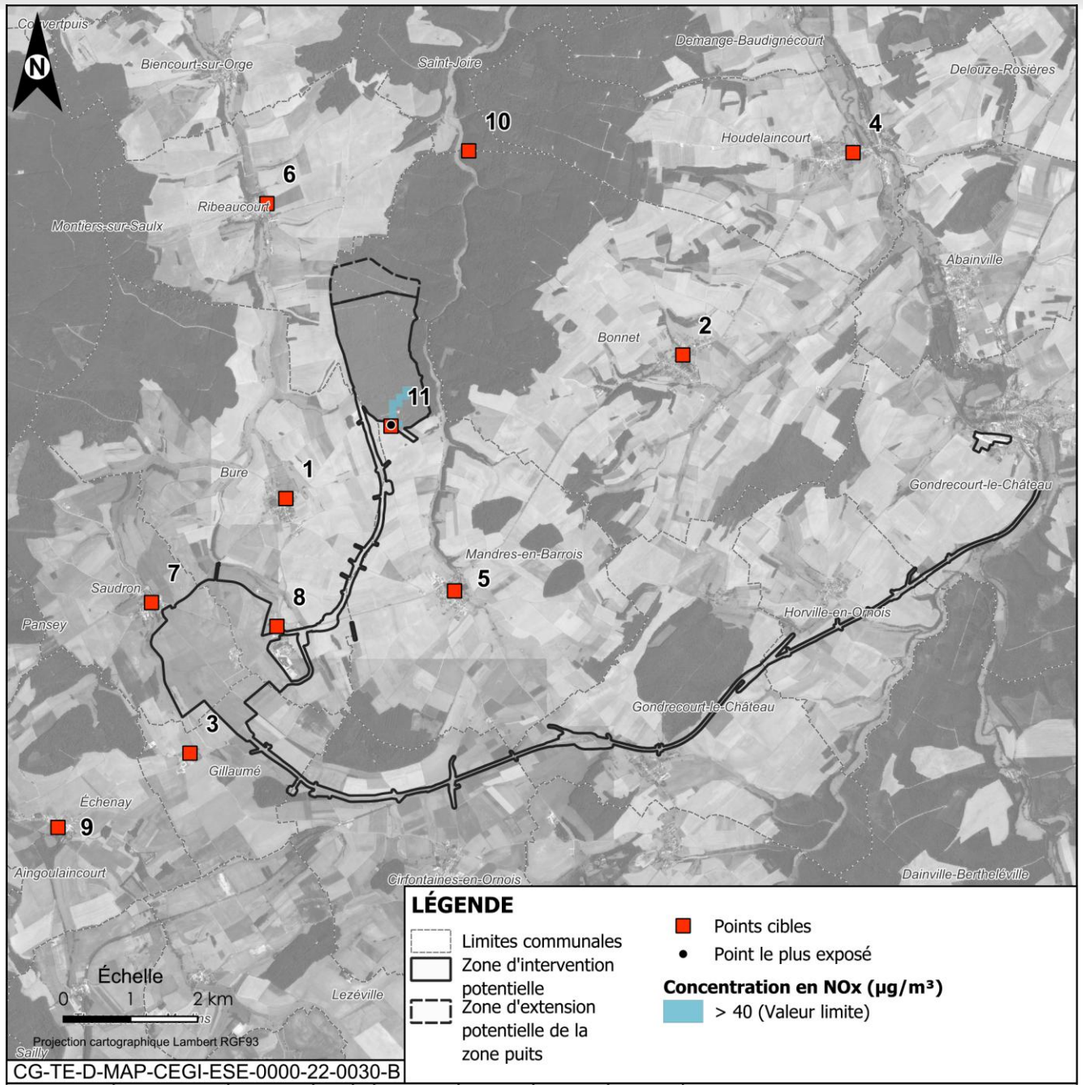


Figure 2-8 Concentration en Nox (µg/m³) en phase de construction initiale

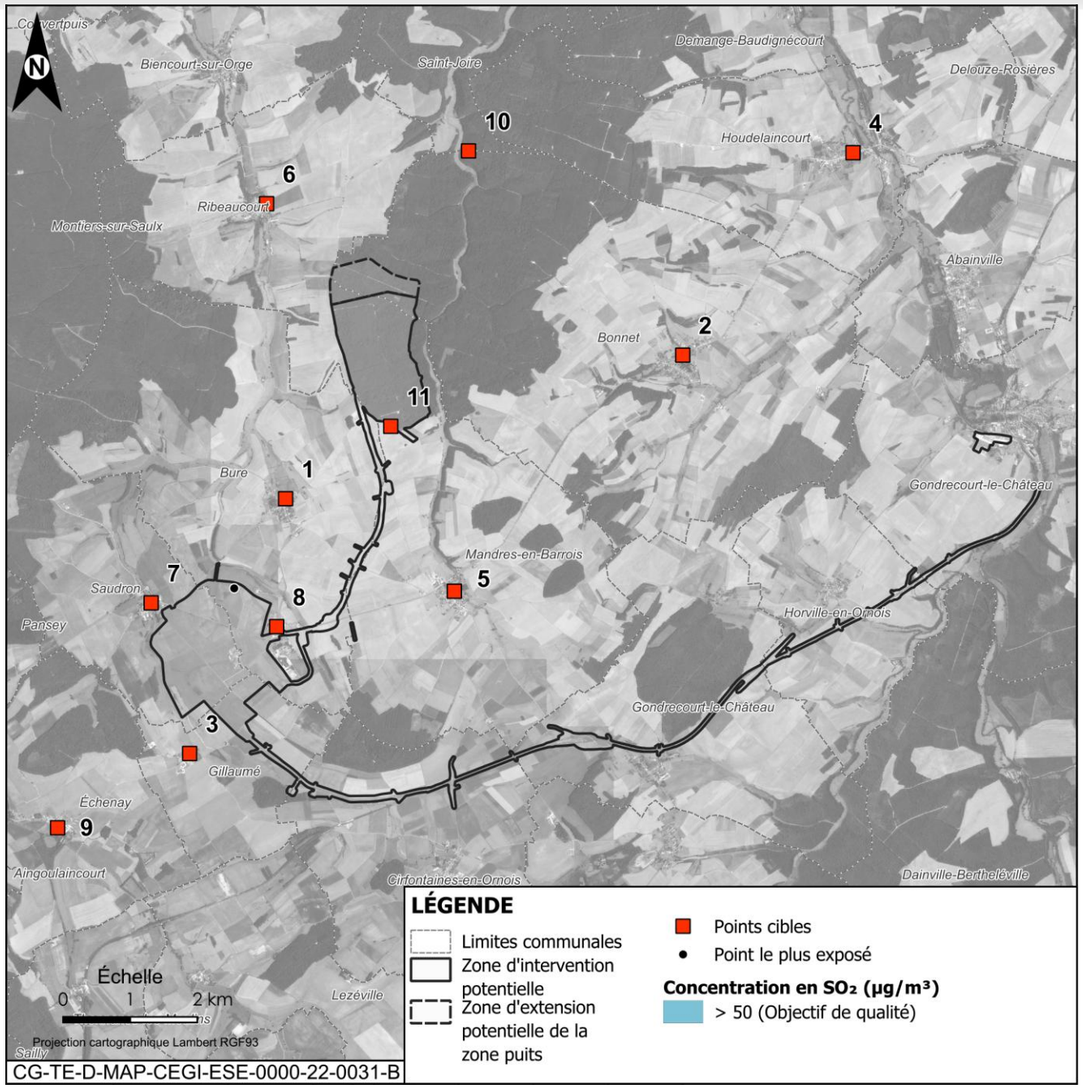


Figure 2-9 Concentration en SO_2 (µg/m³) en phase de construction initiale

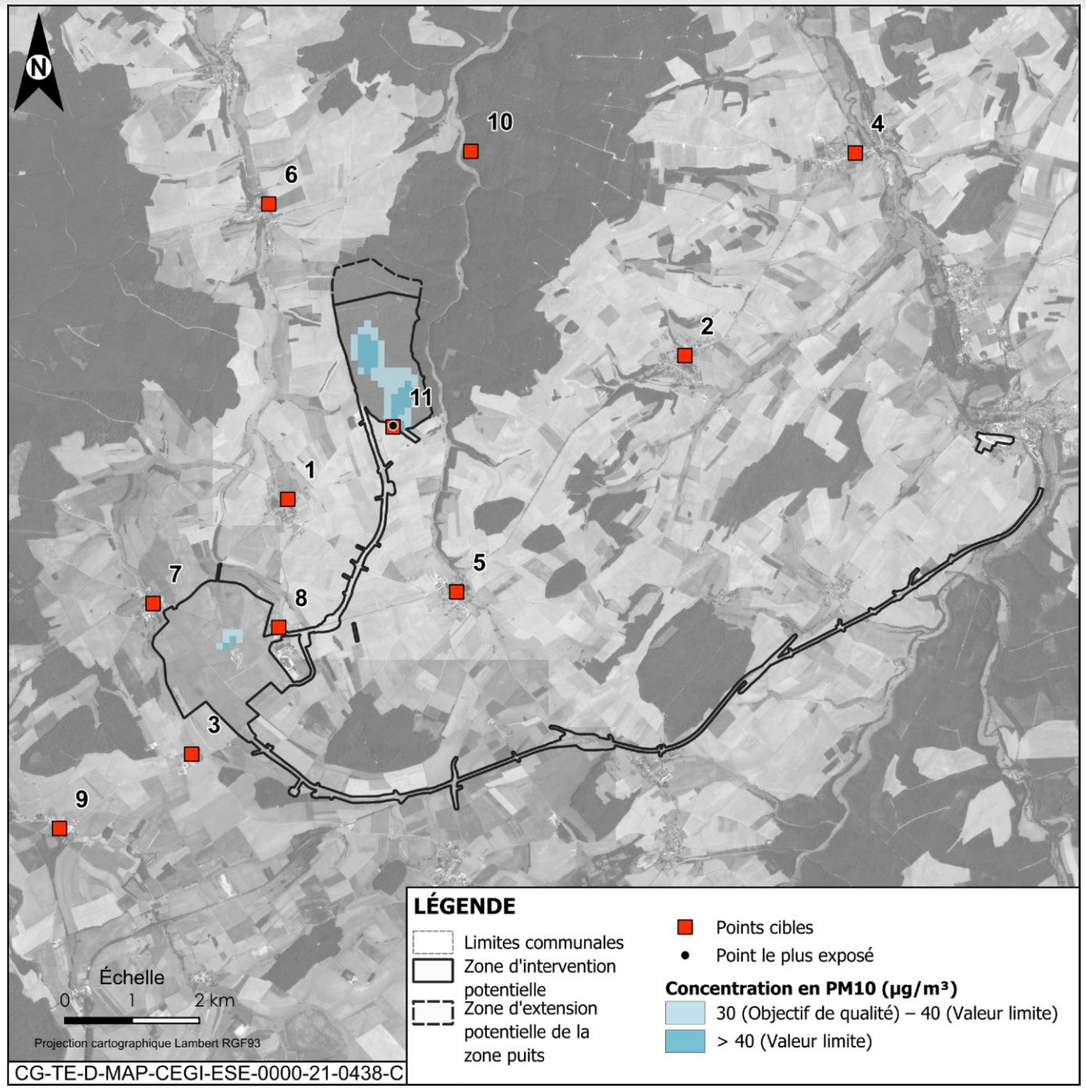


Figure 2-10 Concentration en PM10 (µg/m³) en phase de construction initiale

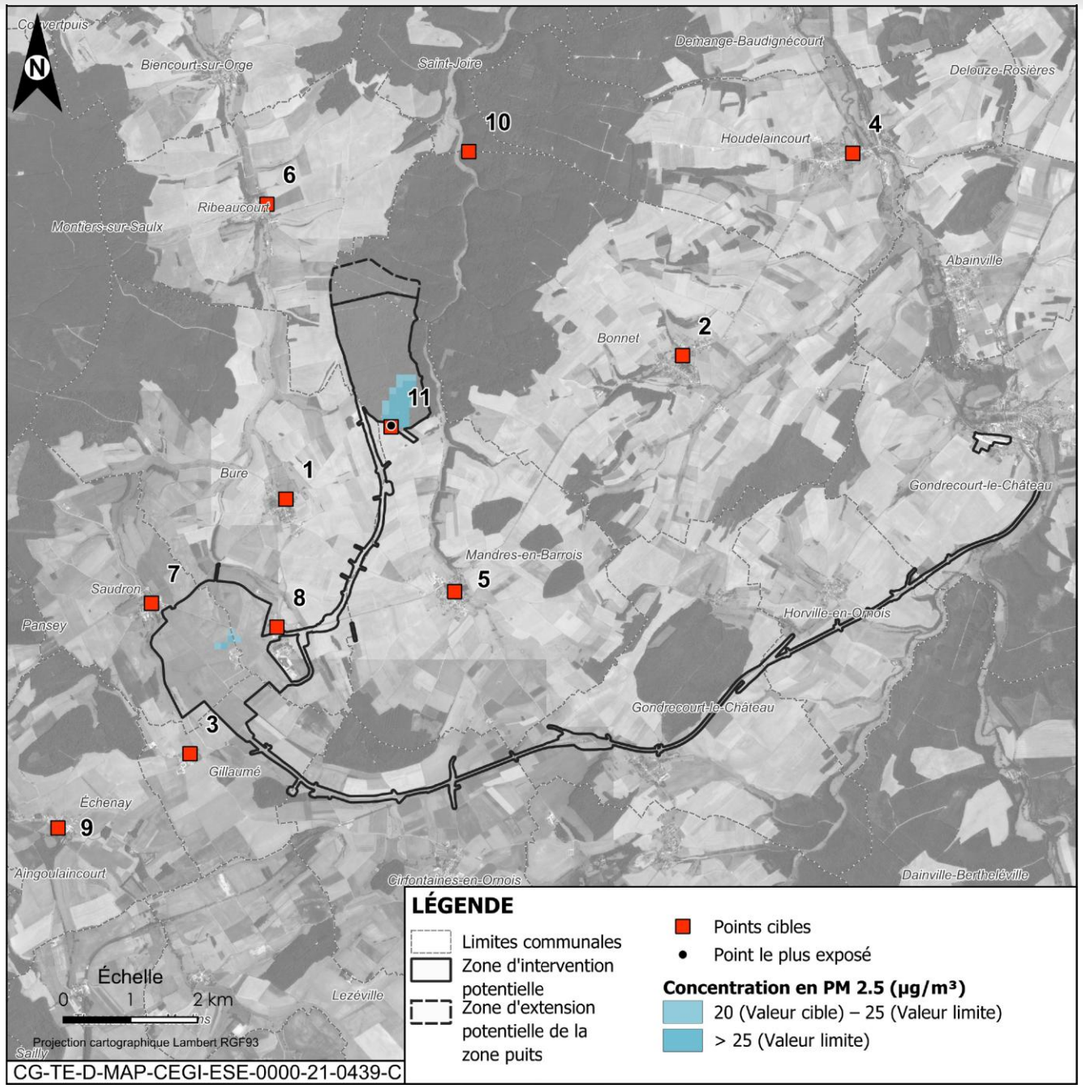


Figure 2-11 Concentration en PM2,5 (µg/m³) en phase de construction initiale

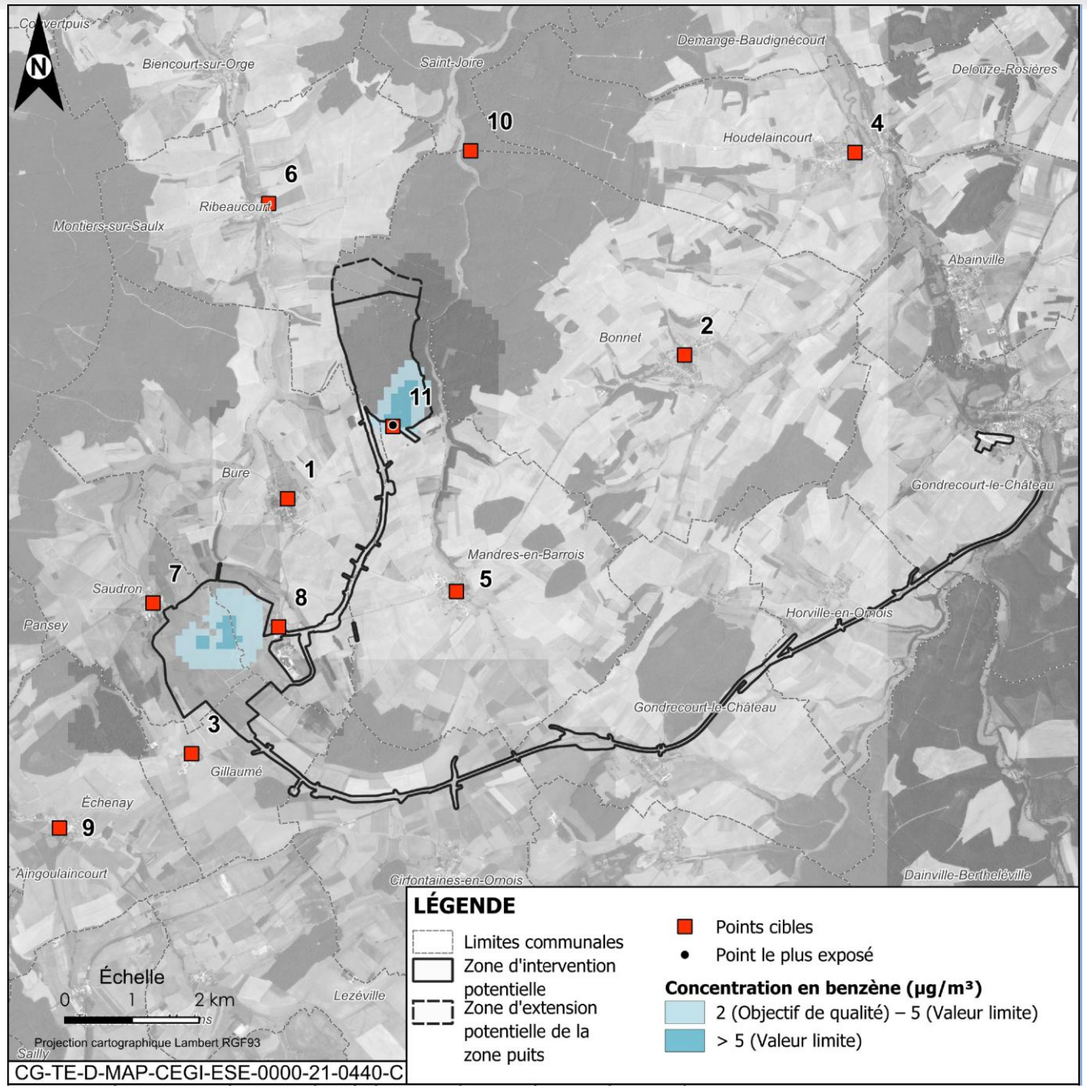


Figure 2-12 Concentration en benzène (µg/m³) en phase de construction initiale

2.4.1.3.3 En phase de fonctionnement

a) Sources et quantification des émissions en phase de fonctionnement

En phase de fonctionnement, les gaz de combustion et les poussières sont émis en quantités moindres par rapport aux phases précédentes car les travaux de construction des installations de surface du centre de stockage Cigéo sont terminés. Durant cette phase, les travaux prévus sont :

- l'extension de l'installation souterraine qui se traduit en surface par les dépôts de verses ;
- la jouvence progressive des installations pour maintenir le haut niveau de qualité de fonctionnement du centre de stockage sur plus d'un siècle.

En phase de fonctionnement, les modélisations concernent les émissions de la zone de descenderie, de la zone puits, de la liaison intersites et les émissions sur le réseau routier principal emprunté par les véhicules liés au projet global Cigéo.

Les postes de transformation électrique n'ont pas été pris en compte dans les modélisations car ils n'émettent des substances qu'en situation accidentelle.

L'ITE et la voie ferroviaire 027000 n'ont pas été prises en compte dans cette modélisation, du fait de l'absence de données consolidées à ce stade des études. Pour ces deux projets les émissions attendues sont très faibles au regard des activités listées dans le présent chapitre.

Pour la phase de fonctionnement (F), les substances associées à chaque source sont détaillées dans le tableau 2-15.

Tableau 2-15 Recensements des sources d'émissions atmosphériques en phase de fonctionnement

Source d'émission	Substances émises	Installations du projet global Cigéo
Circulation de véhicules	CO, NOx, COV, PM10, PM2.5, BaP	Zone descenderie, zone puits, LIS, routes départementales
Engins de chantier	CO, NOx, COV, PM10, PM2.5, SOx	Zone puits (dont verses)
Stockage des matériaux (verses)	PM10, PM2.5	Zone puits (dont verses)
Centrale à béton/mortier	PM10, PM2.5	Zone puits
Chaufferies Biomasse	NOx, SOx, PM10, PM2,5, CO, COV, dioxines et furanes	Zone descenderie, zone puits
Chaufferies à gaz	CO, NOx, SOx	Zone descenderie, zone puits
Ventilation installation souterraine (zone travaux –VVT)	NOx, SOx, COV, CO, PM10, PM2,5	Zone puits
Descenderie de service	NOx, SOx, PM10, PM2,5	Zone descenderie
Atelier de maintenance	NOx, SOx, CO, PM10, PM2,5	Zone puits

La localisation des sources, les caractéristiques des émissions, des points de rejet et des flux pour chacune des sources, ainsi que le bilan des émissions sont présentées dans le chapitre 2 du volume VII de la présente étude d'impact.

La zone puits contribue à 67 % des émissions globales calculées pour toutes les substances.

Les contributions de la LIS et du trafic routier extérieur au site sont négligeables devant les zones puits et descenderie pour toutes les substances.

b) Concentration dans l'air des émissions conventionnelles en phase de fonctionnement

Les tableaux suivants présentent les résultats de concentrations en moyenne annuelle pour la phase fonctionnement, pour chaque simulation et pour chaque substance étudiée. Les résultats sont présentés au niveau des points cibles.

Le code couleur bleu foncé indique un dépassement des seuils réglementaires.

Zone puits

Tableau 2-16 Concentrations en moyenne annuelle – Incidences liées à la zone puits (ZP) en phase de fonctionnement

	Substances							
	CO	NOx	SO_2	PM10	PM2.5	COV	Benzène	Dioxines et furanes
Points cibles	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
1. Bure	0,33	0,16	3,2E-02	0,73	0,40	2,7E-02	1,4E-02	6,1E-12
2. Bonnet	0,13	0,06	1,2E-02	0,23	0,14	1,0E-02	6,1E-03	2,7E-12
3. Gillaumé	0,07	0,03	5,6E-03	0,11	0,07	5,2E-03	3,1E-03	1,3E-12
4. École Houdelaincourt	0,07	0,04	6,5E-03	0,13	0,08	5,8E-03	3,6E-03	1,5E-12
5. Mandres-en-Barrois	0,13	0,07	1,6E-02	0,25	0,15	1,1E-02	5,1E-03	3,4E-12
6. Ribeaucourt	0,06	0,04	8,3E-03	0,17	0,07	5,4E-03	2,4E-03	2,1E-12
7. Saudron	0,14	0,07	1,4E-02	0,29	0,16	1,2E-02	6,5E-03	3,2E-12
8. Hôtel du Bindeuil	0,12	0,06	1,1E-02	0,22	0,14	9,8E-03	5,8E-03	2,5E-12
9. École Échenay	0,04	0,02	3,8E-03	0,08	0,05	3,6E-03	2,1E-03	9,0E-13
10. Natura 2000	0,27	0,14	3,0E-02	0,61	0,31	2,2E-02	1,1E-02	6,6E-12
11. ZNIEFF	1,14	0,53	1,1E-01	3,36	1,60	9,3E-02	3,6E-02	1,7E-11
Valeurs réglementaires françaises :								
• objectif de qualité ;	-	40	50	30	10	-	2	
• valeur limite ;	10 000*	40	-	40	25	-	5	
• valeur cible.	-	-	-	-	20	-	-	

** La valeur réglementaire pour le CO est la valeur limite réglementaire est de 10 000 µg/m³ pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur huit heures.*

Les concentrations maximales modélisées dans l'aire d'étude en dehors du centre de stockage sont situées en limite de site dans des zones non habitées.

Zone descenderie

Tableau 2-17 Concentrations en moyenne annuelle – Incidences liées à la zone descenderie (ZD) en phase de fonctionnement

	Substances						
	CO	NOx	SO_2	PM10	PM2.5	COV	Benzène
Points cibles	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
1. Bure	0,14	0,21	0,07	0,15	0,05	2,2E-02	4,7E-03
2. Bonnet	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	2,4E-03	5,1E-04
3. Gillaumé	0,05	0,05	0,02	0,10	0,03	6,4E-03	1,2E-03
4. École Houdelaincourt	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	1,2E-03	2,5E-04
5. Mandres-en-Barrois	0,04	0,06	0,02	0,05	0,02	6,1E-03	1,3E-03
6. Ribeaucourt	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	3,9E-03	8,6E-04
7. Saudron	0,07	0,10	0,04	0,07	0,02	1,1E-02	2,4E-03
8. Hôtel du Bindeuil	0,58	0,69	0,23	1,25	0,35	8,1E-02	1,6E-02
9. École Échenay	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	3,2E-03	6,6E-04
10. Natura 2000	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	2,9E-03	6,2E-04
11. ZNIEFF	0,06	0,09	0,03	0,05	0,02	9,5E-03	2,1E-03
Valeurs réglementaires françaises :							
• objectif de qualité ;	-	40	50	30	10	-	2
• valeur limite ;	10 000*	40	-	40	25	-	5
• valeur cible.	-	-	-	-	20	-	-

** La valeur réglementaire pour le CO est la valeur limite réglementaire est de 10 000 µg/m³ pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur huit heures.*

Les concentrations maximales modélisées dans l'aire d'étude en dehors du centre de stockage Cigéo sont situées en limite de site à proximité de l'hôtel du Bindeuil.

Zone puits (ZP) + Zone descenderie (ZD) + Liaison intersites (LIS) + Trafic avec l'intégration de la pollution de fond

Tableau 2-18 Concentrations en moyenne annuelle – Incidences cumulées (ZP + ZD + LIS + Trafic) en phase de fonctionnement

	Substances								
	CO	NOx	SO_2	PM10	PM2.5	COV	Benzène	Benzo(a)pyrène	Dioxines et furane
Points cibles	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
1. Bure	120,49	3,78	1,10	12,22	7,81	0,39	0,36	7,7E-08	6,1E-12
2. Bonnet	120,15	3,49	1,02	11,52	7,50	0,35	0,35	3,4E-08	2,7E-12

	Substances								
	CO	NOx	SO_2	PM10	PM2.5	COV	Benzène	Benzo(a)pyrène	Dioxines et furane
Points cibles	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³	µg/m³
3. Gillaumé	120,12	3,49	1,02	11,48	7,45	0,35	0,34	$1,7E^{-08}$	$1,3E^{-12}$
4. École Houdelaincourt	120,09	3,46	1,01	11,43	7,44	0,35	0,34	$3,8E^{-08}$	$1,5E^{-12}$
5. Mandres-en-Barrois	120,18	3,54	1,03	11,64	7,53	0,36	0,35	$6,0E^{-08}$	$3,4E^{-12}$
6. Ribeaucourt	120,10	3,48	1,02	11,45	7,43	0,35	0,34	$4,3E^{-08}$	$2,1E^{-12}$
7. Saudron	120,23	3,59	1,05	11,66	7,54	0,36	0,35	$5,0E^{-08}$	$3,2E^{-12}$
8. Hôtel du Bindeuil	120,74	4,18	1,24	13,10	7,93	0,43	0,36	$1,5E^{-07}$	$2,5E^{-12}$
9. École Échenay	120,07	3,45	1,01	11,36	7,40	0,35	0,34	$1,4E^{-08}$	$9,0E^{-13}$
10. Natura 2000	120,29	3,57	1,04	11,87	7,66	0,36	0,35	$1,5E^{-08}$	$6,6E^{-12}$
11. ZNIEFF	121,23	4,05	1,14	14,98	9,05	0,44	0,38	$1,1E^{-07}$	$1,7E^{-11}$
Pollution de fond	120,00	3,40	1,00	11,20	7,33	0,34	0,34	-	-
Valeurs réglementaires françaises :									
• objectif de qualité ;	-	40	50	30	10	-	2		
• valeur limite ;	10 000*	40	-	40	25	-	5		
• valeur cible.	-	-	-	-	20	-	-	$1,0E^{-06}$	

** La valeur réglementaire pour le CO est la valeur limite réglementaire est de 10 000 µg/m³ pour le maximum journalier de la moyenne glissante sur huit heures.*

D'après les modélisations de dispersion atmosphérique en phase de fonctionnement, les concentrations de substances toxiques chimiques au niveau des établissements accueillant du public ou population sensible recensés dans l'aire d'étude rapprochée du milieu physique du projet global restent inférieures aux normes de qualité de l'air.

Pour l'ensemble des substances étudiées, mis à part le Benzo(a)pyrène, le point le plus exposé du domaine d'étude est situé sur la zone puits, à l'intérieur des limites du site. En dehors des limites des zones puits et descenderie, le point le plus exposé est localisé au sud-ouest à proximité de la zone puits, dans une zone agricole qui n'est pas habitée. Pour le benzène, le point le plus exposé sur le domaine d'étude se trouve en dehors des limites des zones puits et descenderie, à proximité de la LIS à environ 800 mètres à l'est de la zone descenderie, dans une zone agricole. Pour le Benzo(a)pyrène, le point le plus exposé se trouve également le long de la LIS (non cartographié compte tenu des faibles valeurs de concentration modélisées).

L'impact lié à la liaison intersites et au trafic sur le réseau routier principal est négligeable au regard de l'impact lié aux zones descenderie et puits.

La figure 2-13, la figure 2-14, la figure 2-15, la figure 2-16 et la figure 2-17 suivantes présentent les concentrations pour les cinq substances qui présentent des valeurs réglementaires : NO_x, SO_2, PM10, PM2.5 et benzène.

Les aplats colorés montrent les zones où les concentrations au niveau du sol sont comprises entre deux valeurs.

Lorsque les cartographies ne montrent aucun aplat coloré, cela signifie que le projet émet des concentrations inférieures aux valeurs réglementaires en tout point du domaine d'étude, y compris au plus près des sources d'émissions.

Le projet global Cigéo n'engendre pas de dégradation de la qualité de l'air ; l'impact est très faible en phase de fonctionnement.

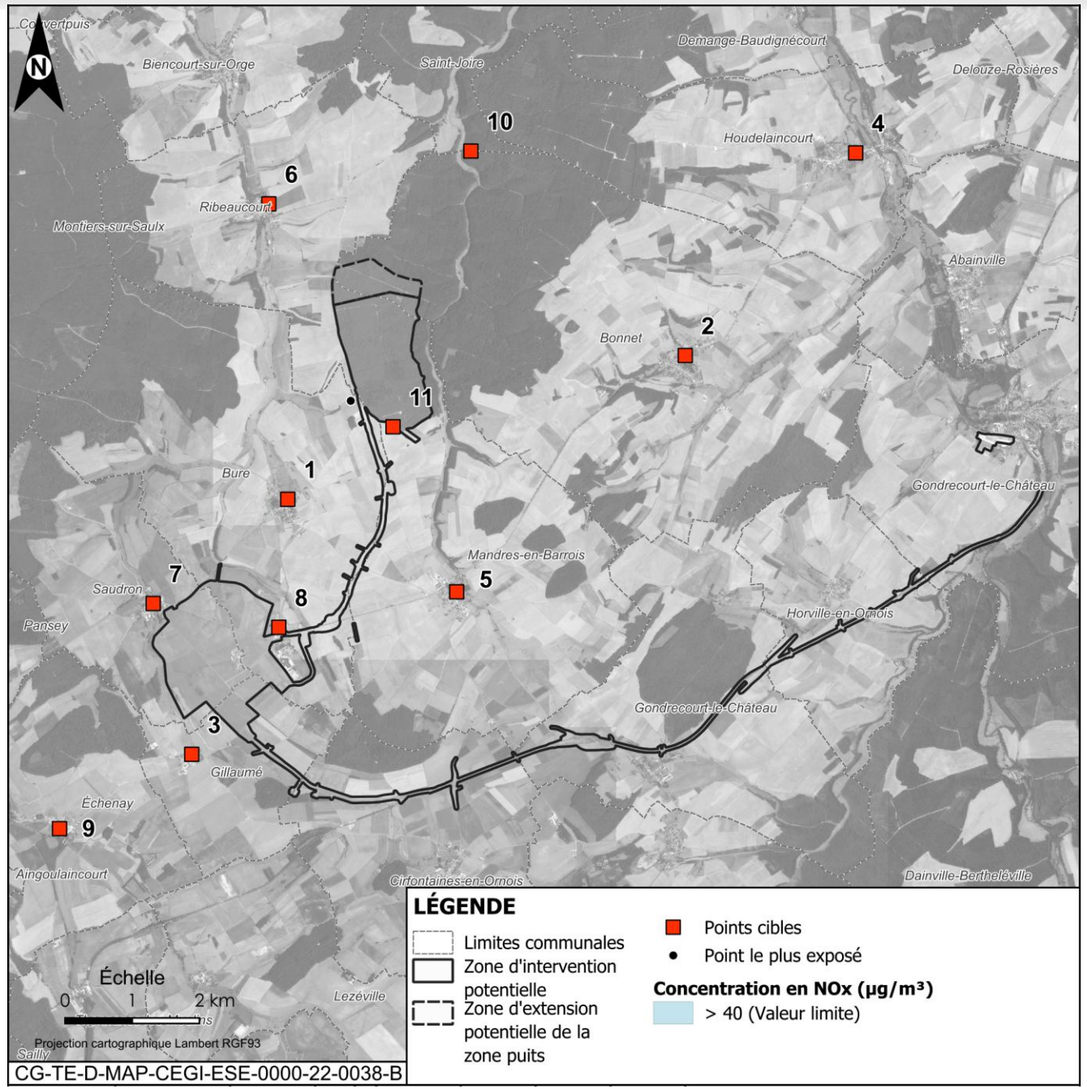


Figure 2-13 Concentration en Nox (µg/m³) en phase de fonctionnement

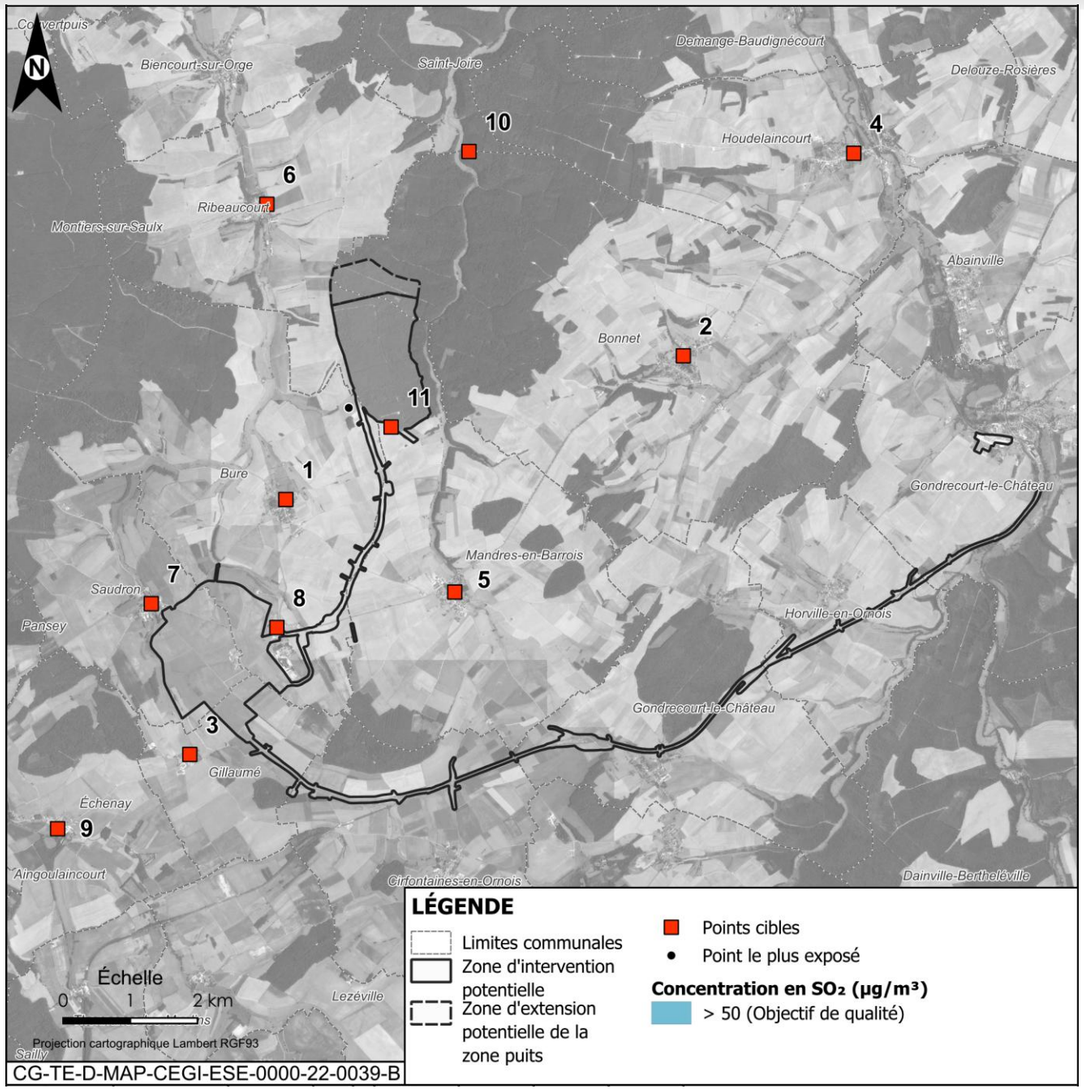


Figure 2-14 Concentration en SO_2 (µg/m³) en phase de fonctionnement

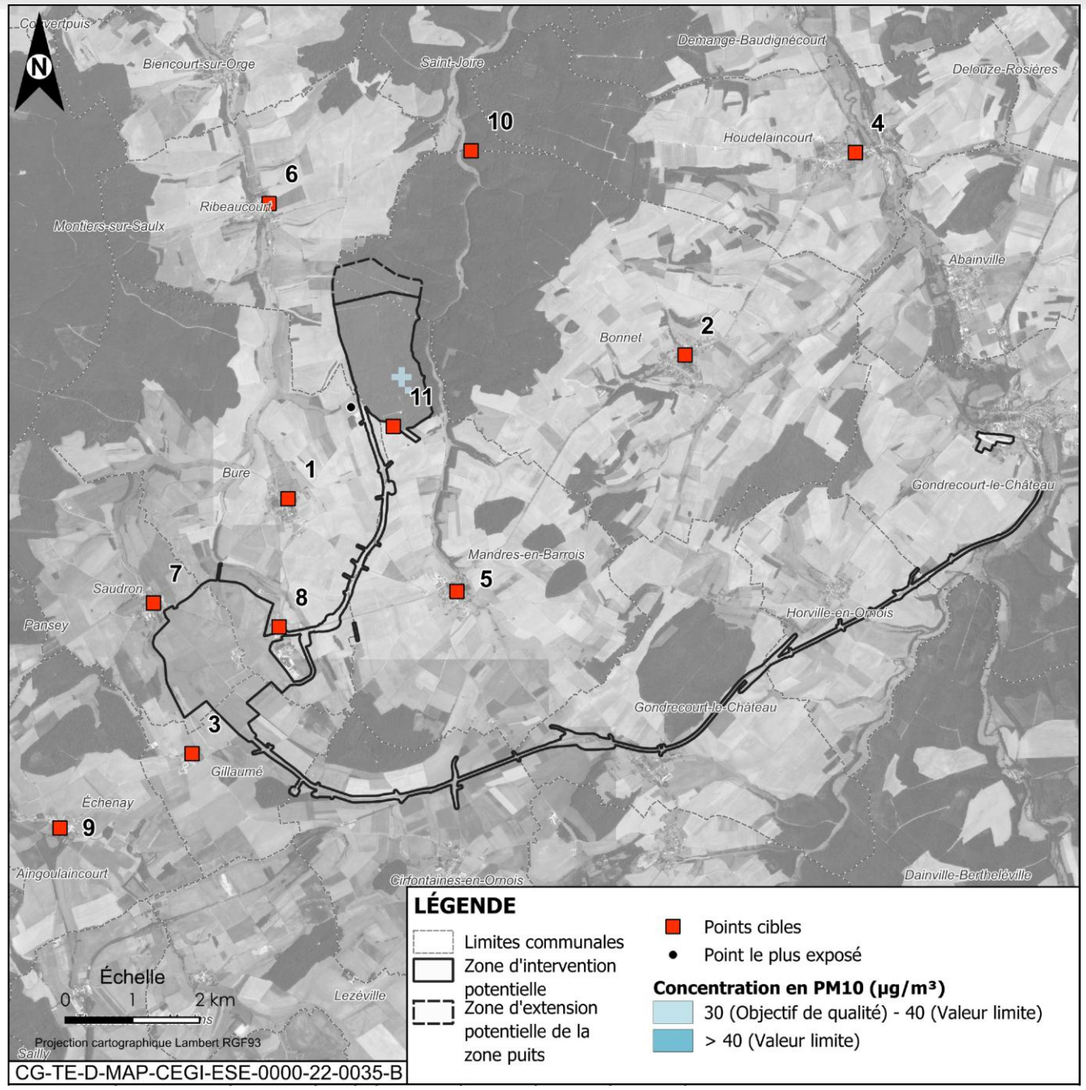


Figure 2-15 Concentration en PM10 (µg/m³) en phase de fonctionnement

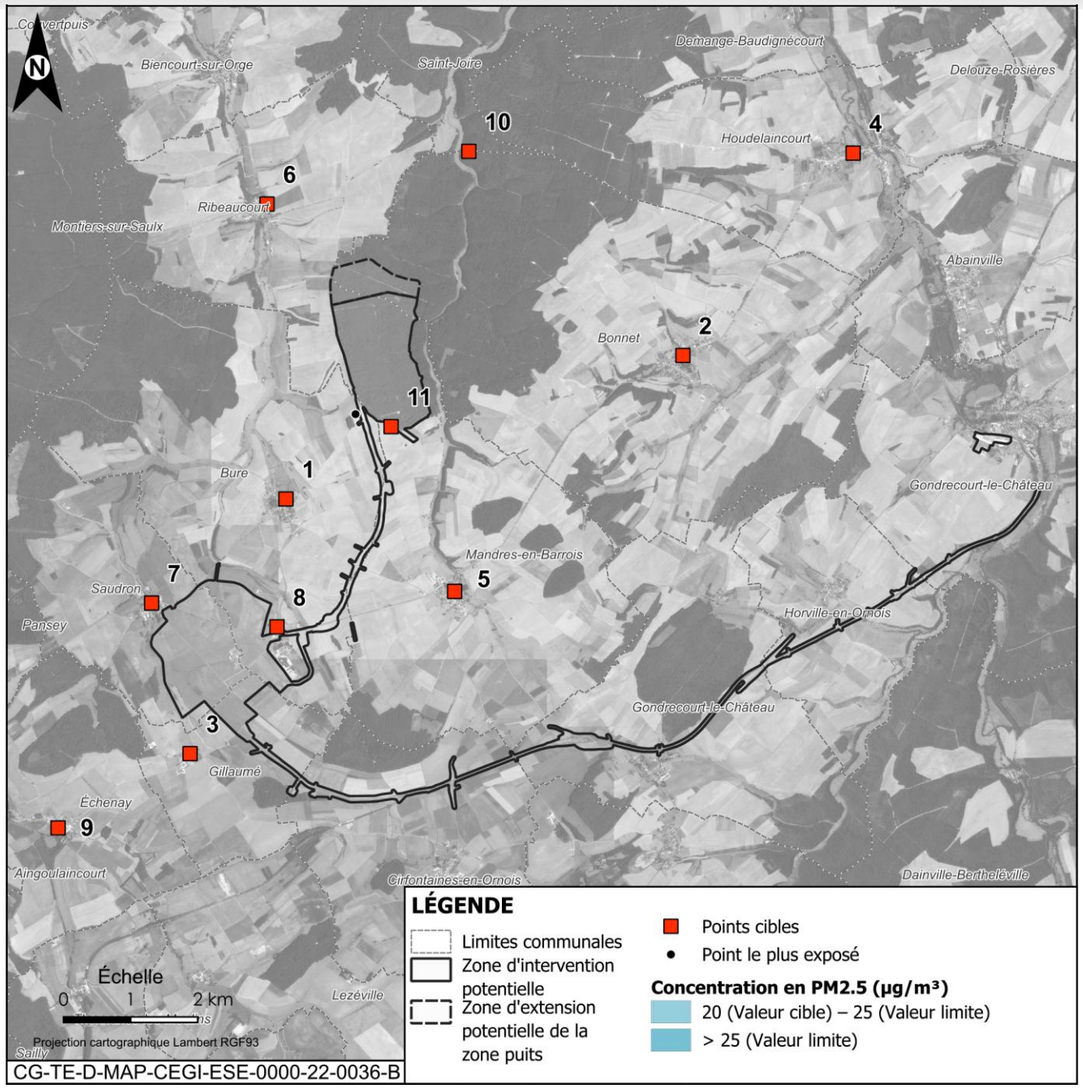


Figure 2-16 Concentration en PM2,5 (µg/m³) en phase de fonctionnement

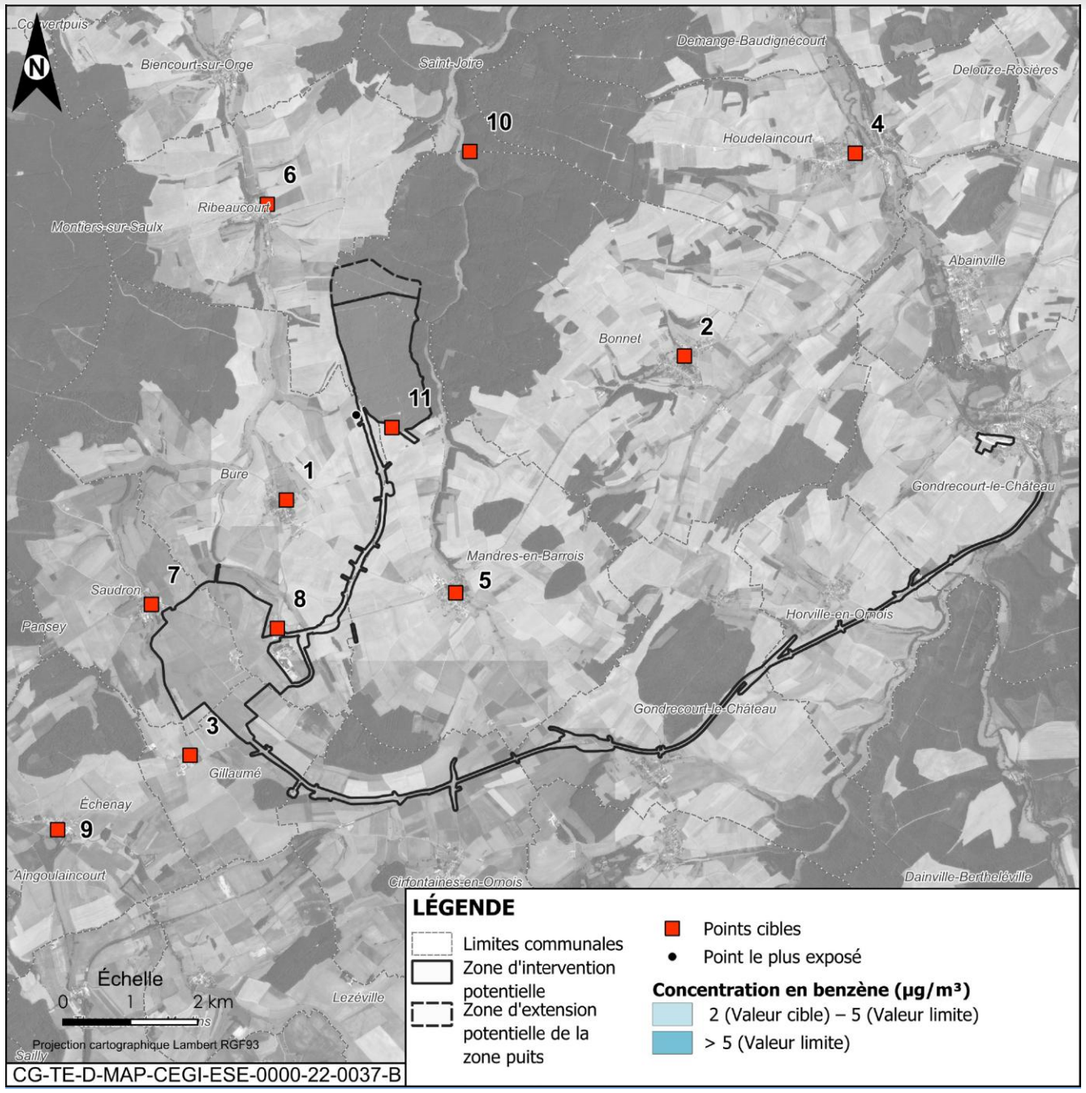


Figure 2-17 Concentration en benzène (µg/m³) en phase de fonctionnement

2.4.1.3.4 Conclusions

Les mesures proposées au chapitre 2.4.1.2 du présent volume ont montré leur efficacité sur de nombreux chantiers. Grâce à leur application, les quantités de substances émises par le projet global Cigéo pendant les phases d'aménagements préalables, de construction initiale et de fonctionnement sont réduites.

En dehors des limites des zones puits et descenderie, pour les phases de construction initiale et de fonctionnement, les concentrations en moyenne annuelle sont inférieures aux valeurs réglementaires françaises de la qualité de l'air pour toutes les substances, excepté pour les poussières et le benzène. Les concentrations en poussières et en benzène peuvent dépasser localement l'objectif de qualité en limite du centre de stockage dans des zones agricoles non habitées, tout en respectant la valeur limite.

Comme les installations du centre de stockage Cigéo sont situées à distance des premières zones habitées (quelques centaines de mètre pour le village le plus proche, Gillaumé), les incidences sur la santé humaine sont également très faibles (cf. Analyse de l'effet sur la santé humaine au chapitre 3.2 du volume VI de la présente étude d'impact).

Les émissions de substances conventionnelles du projet global Cigéo ont une incidence résiduelle faible sur la qualité de l'air.

Aucune mesure compensatoire n'est envisagée.

2.4.1.4 Synthèse des incidences et mesures relatives aux émissions conventionnelles

Le tableau 2-19 synthétise les mesures mises en œuvre afin de limiter les émissions conventionnelles dans l'air.

Tableau 2-19 Synthèse des mesures mises en œuvre pour limiter l'impact des émissions conventionnelles dans l'air dans le cadre du projet global Cigéo

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effet attendu de la mesure	Modalités de suivi	MOA	Opération
Émissions conventionnelles	**Émissions conventionnelles : Niveau d'incidences potentielles : Notable**						
	Verses issues du creusement de l'installation souterraine principalement remontées sur la zone puits	E	CI, F	Éviter les émissions de substances et de poussières liées à la rotation de camions	Suivi des plans d'exécution	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB
	Mise en place d'une bande transporteuse semi-enterrée entre la zone descenderie et la zone puits	E	CI, F	Éviter les émissions de substances et de poussières liées à la rotation de camions	Volume de matériaux transportés par le convoyeur. Mesures régulières de la qualité de l'air.	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Réutilisation de l'ancienne plateforme ferroviaire et de la ligne ferroviaire 027000	E	APR	Éviter les envols de poussières liées aux terrassements	Suivi dès la conception des emprises réutilisées	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
	Raccordement à la ligne THT existante la plus proche	E	APR	Réduire la quantité de travaux à effectuer (et donc réduire les émissions liées)	Suivi des plans d'exécution	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB
						RTE	Alimentation électrique
	Réutilisation de déblais en remblais	E	APR	Éviter les émissions de substances et de poussières liées à la rotation de camions	Suivi des volumes de déblais réutilisés en remblais	Andra	Centre de stockage Cigéo
						CD52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
	Prise en compte des conditions météorologiques	R	APR	Réduire les envols de poussières	Mesures régulières de la qualité de l'air et des dépôts de poussières. Suivi des alertes météorologiques (fortes pluies, périodes de sécheresse, vents importants). Suivi des dispositions prises en vue de prévenir l'envol de poussières et de matières diverses.	Andra	Centre de stockage Cigéo
						CD52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
	Mise en place de dispositifs pour limiter les émissions de poussières	R	APR, CI, F	Réduire les envols de poussières	Mesures régulières de la qualité de l'air et des dépôts de poussières. Suivi des dispositions prises en vue de prévenir l'envol de poussières et de matières diverses. Suivi du bon fonctionnement des dispositifs de captation, de filtration et d'épuration des rejets atmosphériques.	Andra	Centre de stockage Cigéo
						CD52	Déviation de la RD60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effet attendu de la mesure	Modalités de suivi	MOA	Opération
	Gestion optimisée des déblais et remblais permettant la réduction des distances de transport des matériaux par camion	R	APR	Réduire les émissions de substances et de poussières liées à la rotation de camions	Mesures régulières de la qualité de l'air et des dépôts de poussières. Suivi des dispositions prises en vue de prévenir l'envol de poussières et de matières diverses.	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Mise en place d'un revêtement sur les principales pistes empruntées par les véhicules	R	APR	Réduire la remise en suspension dans l'air des poussières lors du passage des véhicules	Mesures régulières de la qualité de l'air et des dépôts de poussières. Suivi des dispositions prises en vue de prévenir l'envol de poussières et de matières diverses.	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Limitation de la vitesse de circulation des véhicules	R	APR, CI, F	Réduire la remise en suspension dans l'air des poussières lors du passage des véhicules	Contrôles de vitesse réguliers et inopinés	Andra	Centre de stockage Cigéo
			APR			CD52	Déviation de la RD60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
	Entretien des véhicules	R	APR, CI, F	Réduire les émissions de substances	Mesures régulières de la qualité de l'air. Cahier de suivi et contrôles.	Andra	Centre de stockage Cigéo
						CD52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
	Émissaires de rejets canalisés en hauteur	R	F	Réduire les émissions de substances	Suivi du bon fonctionnement des dispositifs de captation, de filtration et d'épuration des rejets atmosphériques. Suivi du bon fonctionnement des chaudières et réalisation des contrôles réglementaires.	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Végétalisation des verses afin de réduire les surfaces soumises aux intempéries et au vent	R	CI, F	Réduire les envols de poussières	Mesures régulières de la qualité de l'air et des dépôts de poussières. Suivi régulier de la superficie des verses à nue et des surfaces végétalisées.	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Brumisation des verses non couvertes	R	CI, F	Réduire les envols de poussières	Mesures régulières de la qualité de l'air et des dépôts de poussières	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Émissions conventionnelles : Niveau d'incidences résiduelles : Faible						

*Type de mesure : **E :** évitement ; **R :** réduction ; **C :** compensation ; **A** : accompagnement.*
*Phase : **APR** : aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement.*

La pollution de l'air est la modification de la composition de l'air par des substances nuisibles à la santé et à l'environnement. Ces substances proviennent des activités humaines ou de la nature.

Le projet global Cigéo s'implante dans un environnement rural, peu urbanisé où les dépassements des seuils de qualité de l'air indiqués dans l'article R. 221-1 du code de l'environnement ne sont jamais constatés à l'exception de l'ozone et des $PM_{2,5}$.

En phase d'aménagements préalables et en construction initiale, les travaux concernent de nombreuses activités telles que les terrassements, le défrichement, la construction des bâtiments, etc. qui sont à l'origine des émissions de substances dans l'air. En effet ces opérations entraînent une augmentation du trafic (*in situ*) et nécessitent l'utilisation d'engins de chantier, de centrales à béton, etc. La phase de fonctionnement comprend quant à elle, la circulation de véhicules et d'engins, le stockage de matériaux, et l'activité des installations tels que les postes électriques, les chaufferies, la ventilation de l'installation souterraine et bâtiments nucléaires.

Ces activités sont émettrices de substances en quantité variable telles que :

- les poussières (*via* notamment la remise en suspension des particules de sols pendant les opérations de terrassement ou à l'échappement des véhicules) ;
- les COV (composés organiques volatils) (à l'échappement des véhicules, des engins de chantier, et très ponctuellement de la centrale d'enrobés) ;
- le dioxyde d'azote (NOx) ;
- le monoxyde de carbone (CO) (à l'échappement des véhicules et très ponctuellement à l'utilisation de la centrale d'enrobés) ;
- le dioxyde de soufre (Sox) (*via* l'utilisation très ponctuelle d'explosifs pour les terrassements, ou de la centrale d'enrobés) ;
- le benzo(a)pyrène (BaP) (gaz d'échappement des véhicules) ;
- et pour finir les dioxines et les furanes (*via* l'utilisation des chaudières Biomasse en phase de fonctionnement).

Les particules ou poussières en suspension sont distinguées selon un critère de taille :

- les PM_{10} : particules dont le diamètre est inférieur à 10 microns (µm), soit 0,01 mm ;
- les $PM_{2,5}$: particules dont le diamètre est inférieur à 2,5 microns (µm), soit 0,0025 mm.

Pour limiter ces incidences, l'Andra s'engage à mettre en place des mesures d'évitement et de réduction. Parmi les mesures d'évitement, sont prévues : l'utilisation d'un convoyeur semi-enterré pour transporter des verses et matériaux entre les zones puits et descenderie, le dépôt des verses en zone puits à proximité du lieu d'extraction ce qui permet d'éviter des rotations de camions, ou encore la réutilisation d'emprises existantes qui permet d'éviter les mises en suspension de poussières dans l'air lors des travaux. Ces mesures d'évitement s'accompagnent de mesures de réduction usuellement mises en œuvre sur les chantiers. Parmi ces mesures, sont mises en œuvre : la brumisation des zones de dépôt des verses non couvertes, la prise en compte des conditions météorologiques lors d'opérations susceptibles de disperser des poussières (chaulage par exemple), l'arrosage par temps sec, l'adaptation des équipements susceptibles de disperser des poussières (bâchage des camions autant que possible, dispositifs de capotage et d'aspiration des équipements le nécessitant), la mise en place de revêtements sur les voiries et la limitation de la vitesse de circulation des véhicules, etc.

L'ensemble de ces mesures permet de réduire les quantités de substances chimiques émises par le projet global Cigéo.

D'après les modélisations de dispersion atmosphérique, les concentrations de substances toxiques chimiques au niveau des établissements accueillant du public ou population sensible recensés dans l'aire d'étude rapprochée du milieu physique du projet global restent inférieures aux normes de qualité de l'air, sauf pour les PM2,5, à l'hôtel de Bindeuil où la concentration (10,59 µg/m³) est très légèrement au-dessus de l'objectif de qualité (10 µg/m³), sachant que la pollution de fond (7,33 µg/m³) est prépondérante dans le niveau atteint.

Les concentrations en PM2.5 et en benzène sont très localement supérieures aux normes de qualité de l'air, en phase de construction initiale, uniquement dans des zones agricoles non habitées en limite de la zone puits et au niveau de la zone ZNIEFF.

Le projet global Cigéo n'engendre pas de dégradation de la qualité de l'air. L'impact est donc faible.

Les émissions de substances conventionnelles du projet global Cigéo ont une incidence résiduelle faible sur la qualité de l'air.

2.4.1.5 Incidences liées aux émissions chimiques atmosphériques sur la santé humaine

Toutes les activités du projet global Cigéo, qu'il s'agisse des travaux ou du fonctionnement des installations conduisent à des « émissions » chimiques atmosphériques dans l'environnement. L'étude des incidences (effets potentiels) de ces émissions chimiques atmosphériques sur la santé des populations environnantes se trouve ici synthétisée, cette analyse étant détaillée au volume VI de la présente étude d'impact.

Le projet global Cigéo est à l'origine d'émissions chimiques atmosphériques (poussières, composés organiques volatils…) pendant ses phases d'aménagements préalables, de construction initiale puis de fonctionnement.

L'évaluation des incidences sur la santé humaine liées aux émissions chimiques s'intéresse aux substances susceptibles d'avoir des effets sur la santé des populations environnantes du fait de leur exposition et de leur potentielle toxicité. Cette évaluation repose sur une étude du risque sanitaire conformément aux recommandations de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Inéris) (12). Les émissions chimiques ont des incidences potentielles significatives sur la santé humaine et elles font l'objet de mesures d'évitement et de réduction.

Les émissions chimiques atmosphériques*

Les principales émissions chimiques atmosphériques du projet global Cigéo en phase d'aménagements préalables sont typiques d'un grand chantier, constituées de poussières, d'oxydes d'azote, d'oxydes de soufre, de monoxyde de carbone et de gaz de combustion (principalement des composés organiques volatils). En phases de construction initiale et de fonctionnement, les émissions chimiques sont principalement liées (i) à la circulation des engins et des véhicules pendant les travaux du centre de stockage Cigéo, puis (ii) au fonctionnement des installations, comme les chaudières, les centrales à béton, la ventilation des installations ; et (iii) aux envols de particules en lien avec le dépôt de verses et les zones de stockage de matériaux. Les composés chimiques émis sont essentiellement des poussières, des oxydes de carbone, des oxydes de soufre, du monoxyde de carbone et des gaz de combustion.

Ces émissions chimiques atmosphériques peuvent être diffuses ou canalisées. Elles sont localisées dans et aux abords du centre de stockage Cigéo et de part et d'autre des opérations des autres maîtres d'ouvrage.

Des mesures sont mises en place, notamment pour réduire les émissions de poussières et réduire les transports (source d'émission de gaz de combustion). L'ensemble de ces mesures ainsi que leurs effets attendus et modalités de suivi sont exposés au chapitre 2.4.1.2 du présent volume. Il s'agit notamment de l'implantation du stockage des verses à l'aplomb de l'installation souterraine sur la zone puits et de leur transfert de la zone descenderie vers la zone puits par un convoyeur semi-enterré, mais aussi de la brumisation des verses non couvertes. Afin de limiter les émissions de poussière par « roulage », la vitesse de circulation des véhicules est limitée et les revêtements en enrobé réalisés au plus tôt sur les pistes empruntées par les véhicules.

La méthodologie recommandée par l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Inéris), consiste à évaluer, à l'aide des valeurs toxicologiques de référence relatives aux substances étudiées, soit des quotients de danger (QD) dans le cas des substances avec effet de seuil (substances non cancérogènes), soit des excès de risque individuel (ERI) dans le cas des substances sans effet de seuil (substances cancérogènes). Cette méthodologie n'étant applicable que pour certaines substances chimiques au regard des connaissances scientifiques actuelles. Pour les autres substances chimiques, l'incidence sur la santé humaine associée est évaluée en comparant les résultats de l'évaluation de l'exposition humaine aux valeurs réglementaires ou de référence pour la protection des populations disponibles.

L'évaluation de l'exposition humaine est réalisée selon une démarche prudente, avec des choix d'hypothèses majorantes afin de couvrir au maximum les incertitudes associées. Les populations les plus exposées aux émissions chimiques atmosphériques du projet global Cigéo sont, compte tenu de la nature et de la quantité des émissions, celles qui se trouvent être les plus proches du centre de stockage Cigéo, à savoir celles des habitants de : Bonnet, Gillaumé, Saudron, Mandres en Barrois, Ribeaucourt et Bure, ainsi que les personnes fréquentant l'Hôtel du Bindeuil et l'école d'Échenay.

La voie d'exposition majoritaire de l'homme aux émissions chimiques atmosphériques du projet global est l'inhalation de substances potentiellement toxiques. Les évaluations d'exposition humaine liée aux émissions chimiques atmosphériques sur la santé humaine sont effectuées par ARIA Technologies avec le logiciel AirAdvanced® Map version Standard, outil de référence de nombreuses installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Elles sont réalisées avec des hypothèses majorant les résultats (par exemple, les populations sont considérées exposées 365 jours par an pendant 70 années).

Les résultats de ces évaluations confirment qu'aucune habitation, ni aucun établissement accueillant du public ou population sensible recensé dans l'aire d'étude rapprochée du milieu physique du projet global n'est exposé à des concentrations ajoutées de substances toxiques chimiques dépassant les valeurs de référence de la réglementation (valeurs limites pour la protection de la santé humaine) ou de gestion (objectifs de qualité).

Pour les autres substances dites d'intérêts possédant des valeurs toxicologiques de référence (benzène, représentatif des composés organiques volatils, monoxyde de carbone et benzo(a)pyrène), représentatives des substances émises et traceurs de risque, les quotients de danger (QD) et les excès de risque individuel (ERI) calculés selon la méthodologie de l'Ineris sont inférieurs aux valeurs repères recommandées. Le risque sanitaire est qualifié selon cette méthodologie de non préoccupant vis-à-vis de la santé humaine.

En tout état de cause, les concentrations ajoutées de substances toxiques chimiques atmosphériques émis par le projet global Cigéo restent en deçà des valeurs réglementaires de protection de la santé humaine au niveau des habitations.

Les incidences résiduelles des émissions chimiques atmosphériques du projet global Cigéo sur la santé humaine sont très faibles.

2.4.2 Émissions radioactives

2.4.2.1 Incidences potentielles

Pour rappel, la radioactivité est un phénomène naturel qui existe depuis l'origine de la terre (il y a 4,5 milliards d'années). Cette radioactivité naturelle, omniprésente, provient des rayons cosmiques provenant du soleil et des galaxies qui génèrent en permanence des atomes radioactifs comme le tritium ou le carbone 14, et des roches qui renferment naturellement des atomes radioactifs comme l'uranium 238, le potassium 40 ou le thorium 232. Les niveaux de radioactivité actuels mesurés à la station d'Houdelaincourt (cf. Chapitre 1.2.5.2 du volume III de la présente étude d'impact) sont globalement du même ordre de grandeur que les niveaux moyens mesurés dans l'air en France. Il est à noter que le niveau de radioactivité du tritium à Houdelaincourt est légèrement plus faible que la moyenne nationale.

Les émissions radioactives du centre de stockage Cigéo sont liées à la présence de colis radioactifs qui ne sont présents qu'à partir de la phase de fonctionnement.

Les émissions radioactives dans l'air liées au transport des colis de déchets avant leur arrivée sur le centre de stockage Cigéo sont extrêmement faibles. Les colis de déchets radioactifs sont transportés sur la voie publique ou privée dans des emballages de transport, répondant à des critères stricts définis sur la base des recommandations de l'Agence internationale pour l'énergie atomique (AIEA) (13), de la réglementation française (14) et des conventions et accord européens (15) relatifs au transport de marchandises dangereuses. Un plan de transport des colis de déchets radioactifs est élaboré et le transport des colis est suivi en temps réel par géolocalisation.

Les sources d'émission d'éléments radioactifs dans l'air sont évaluées au niveau des installations du centre de stockage Cigéo. Elles proviennent :

- du relâchement, en très faible quantité, d'éléments radioactifs gazeux par certains colis de déchets MA-VL. Ces éléments radioactifs gazeux sont le tritium (^{3}H), le carbone 14 (^{14}C) et le krypton 85 (^{85}Kr). Ces trois éléments radioactifs très volatils, restent à l'état gazeux ou sous forme de vapeur d'eau, sans former d'aérosols (particules solides ou liquides en suspension dans l'air). Ils sont également faiblement radiotoxiques ;
- de la présence potentielle de traces de contamination labile sur les surfaces externes des colis de déchets qui sont réceptionnés. Ces traces de contamination sont des particules radioactives, émetteurs alpha et bêta/gamma, pouvant être présents sur la surface externe des colis de déchets radioactifs. Ils peuvent être mis en suspension par le léchage des colis par la ventilation des locaux.

Les colis de déchets radioactifs sont manutentionnés sur le centre de stockage au sein de l'installation nucléaire équipée de systèmes de ventilation dédiés à la gestion des émissions radioactives qui permettent de canaliser les émissions gazeuses et particulaires jusqu'à des émissaires, appelés « cheminées »

Les rejets atmosphériques sont émis *via* des émissaires permettant de les canaliser, de les filtrer et de les surveiller. Ces émissaires sont :

- une cheminée reliée à l'usine de ventilation de la zone puits, qui canalise et contient l'instrumentation de la surveillance de l'extraction d'air de la zone souterraine en exploitation ;
- une cheminée en toit de l'installation nucléaire de surface située sur la zone descenderie.

Le tableau 2-20 synthétise les incidences potentielles du projet global Cigéo sur les émissions radioactives.

Compte tenu des émissions radioactives d'origine artificielle dans l'air liées au centre de stockage Cigéo, les incidences potentielles sont considérées comme notables avant mesures d'évitement et de réduction présentées ci-après.

Tableau 2-20 Incidences potentielles des émissions radioactives du projet global Cigéo sur la qualité de l'air

Incidences potentielles	Centre de stockage Cigéo	Alimentation électrique	Adduction d'eau	Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000	Déviation de la route départementale D60/960	Expédition et transport des colis de déchets radioactifs
Émissions radioactives	F					

E orange : incidence potentielle notable ; en bleu : incidence potentielle non notable
***APR** : aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement*

Les incidences sur la santé humaine des émissions radioactives sont développées dans le volume VI de la présente étude d'impact.

Les incidences des émissions radioactives sur les sols, l'eau, la faune et la flore et l'agriculture sont développées respectivement dans les chapitres 3, 5, 6 et 8 du présent volume.

2.4.2.2 Mesures d'évitement et de réduction

Les mesures mises en œuvre visent à éviter et limiter les émissions radioactives dans l'air. Elles concernent à la fois le conditionnement des déchets radioactifs (colis primaires), l'absence d'ouverture des colis et de traitement des déchets radioactifs (HA et MA-VL) et la conception des installations.

2.4.2.2.1 Mesures d'évitement

a) Conditionnement des déchets radioactifs (colis primaires), selon les spécifications d'acceptation fixées par l'Andra

Mesure d'évitement – E3.2b : conditionnement des déchets radioactifs (colis primaires), selon les spécifications d'acceptation fixées par l'Andra			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB (ZD, ZP, ZIOS)	F

Les déchets radioactifs à destination du centre de stockage Cigéo, qui peuvent être produits sous forme gazeuse, liquide ou solide, sont tous solidifiés et immobilisés sous une forme non dispersable puis sont placés dans un conteneur fermé (colis primaire), pour former un colis de déchets radioactifs. Ce conditionnement est fait en amont de l'arrivé des colis. Ces colis de déchets ne subissent aucune transformation dans l'INB Cigéo (cf. Mesure ci-après). Les colis de déchets destinés au stockage sont soumis au respect de critères techniques, appelés « spécifications d'acceptation », élaborés et contrôlés par l'Andra.

Modalité de suivi

Un suivi de la qualité des colis de déchets radioactifs est réalisé par l'Andra de la production du colis jusqu'à la mise en stockage.

b) Absence d'ouverture des colis et de traitement des déchets radioactifs (HA et MA-VL)

Mesure d'évitement – E3.2b : absence d'ouverture des colis et de traitement des déchets radioactifs (HA et MA-VL)			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Déchets radioactifs	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB (ZD, ZIOS)	F

Afin d'éviter toute dispersion d'éléments radioactifs, les colis de déchets radioactifs sont conditionnés préalablement à leur transport en conformité avec les spécifications d'acceptation fixées par l'Andra (cf. Mesure d'évitement ci-dessus) et ne subissent aucune transformation dans les installations du centre de stockage Cigéo. En fonctionnement normal, il n'y a aucune opération de traitement des déchets radioactifs sur le centre de stockage Cigéo, et les colis de déchets radioactifs réceptionnés ne sont pas ouverts. Les activités effectuées au sein des installations impliquant les colis de déchets sont limitées à des opérations de manutention (extraction des emballages de transport, insertion dans des conteneurs ou paniers de stockage, transfert dans des hottes jusqu'aux alvéoles de stockage) et de contrôle à chaque étape avant leur stockage en alvéole. Le confinement des déchets HA et MA-VL est donc en permanence maintenu, du départ des colis des installations des producteurs jusqu'à leur stockage.

c) Émissions atmosphériques radioactives canalisées et rejetées *via* des émissaires

Mesure d'évitement – E3.2b : émissions atmosphériques radioactives canalisées et rejetées *via* des émissaires			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB (ZD, ZP, ZIOS)	F

Les émissions atmosphériques radioactives sont canalisées et rejetées *via* des émissaires, appelés « cheminées ».

Modalité de suivi

Un suivi du fonctionnement des systèmes de ventilation est réalisé tout au long de la phase de fonctionnement. Un plan de maintenance de ces systèmes de ventilation est élaboré.

2.4.2.2.2 Mesures de réduction

a) Systèmes de ventilation nucléaires équipés de filtres à très haute efficacité (rétention de 99,9 % des aérosols au minimum)

Mesure de réduction – R2.2z : systèmes de ventilation nucléaires équipés de filtres à très haute efficacité (rétention de 99,9 % des aérosols au minimum)			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB (ZD, ZP, ZIOS)	F

Comme présenté ci-avant, l'installation nucléaire est équipée de systèmes de ventilation disposant si nécessaire d'une filtration à extraction. Ceux-ci sont équipés au minimum d'un dernier niveau de filtration à très haute efficacité (THE), permettant de retenir la majeure partie des aérosols radioactifs (un filtre THE permet de retenir au moins 99,9 % des aérosols).

Toutes les zones de l'installation nucléaire présentant un risque de contamination dans les conditions normales d'exploitation (cellules de conditionnement des déchets et certains locaux de l'installation nucléaire de surface, ainsi que le quartier de stockage des colis MA-VL) ont à minima un niveau de filtration très haute efficacité sur les réseaux d'extraction d'air. Ces filtres sont inspectés régulièrement afin de contrôler leur niveau de colmatage et s'assurer de leur haut niveau d'efficacité. Ils sont remplacés si nécessaire.

Modalité de suivi

Un suivi du fonctionnement des systèmes de ventilation est réalisé tout au long de la phase de fonctionnement et notamment le suivi du colmatage des filtres. Un plan de maintenance de ces systèmes de ventilation est élaboré.

b) Émissaires de rejets canalisés en hauteur

Mesure de réduction – R2.2z : émissaires de rejets canalisés en hauteur			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB (ZD, ZP, ZIOS)	F

Les hauteurs des émissaires de rejets (cheminées) sont suffisantes (de l'ordre d'une vingtaine de mètres de hauteur à compter des voiries d'accès du bâtiment) pour la bonne diffusion des rejets gazeux et fournissent ainsi des conditions de dispersion qui permettent de minimiser les incidences, conformément à l'arrêté du 9 août 2013 relatif à la maîtrise des nuisances et des impacts sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base (16).

Modalité de suivi

Un plan de surveillance des rejets radioactifs est élaboré et mis en œuvre tout au long de la phase de fonctionnement.

c) Mesure de la dose ambiante dans les zones contenant des colis de déchets radioactifs

Mesure de réduction – R2.2z : mesure de la dose ambiante dans les zones contenant des colis de déchets radioactifs			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Qualité de l'air	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB (ZD, ZP, ZIOS)	F

Une mesure de la dose ambiante dans les zones contenant des colis de déchets radioactifs est assurée en permanence par des balises atmosphériques de radioprotection couplées avec des alarmes (visuelle, sonore) permettant de prévenir d'une situation anormale.

Modalité de suivi

Un suivi du fonctionnement des balises atmosphériques de radioprotection est réalisé tout au long de la phase de fonctionnement Un plan de maintenance de ces systèmes de surveillance est élaboré.

2.4.2.3 Incidences résiduelles

Les incidences résiduelles des émissions radioactives sur la qualité de l'air sont évaluées par modélisation de la dispersion atmosphérique des gaz et aérosols radioactifs rejetés au niveau des différents émissaires (cheminées) de ventilation des installations nucléaires (bâtiment nucléaire de surface et puits « ventilation air vicié exploitation ») du centre de stockage Cigéo.

La méthode et les hypothèses associées à l'évaluation des incidences des émissions radioactives sont détaillées au chapitre 2.2 du volume VII de la présente étude d'impact.

2.4.2.3.1 Sources et quantification des émissions

Les évaluations des quantités d'éléments radioactifs rejetés au niveau des émissaires des installations de surface et souterraine, sont basées sur la connaissance des déchets (dossiers de connaissances des colis de déchets) et sont associées à des hypothèses très pénalisantes (comme de prendre en compte la présence simultanée des mêmes colis de déchets en surface et en profondeur, d'utiliser des valeurs de dégazage majorantes sans prise en compte du rôle des conteneurs, de considérer des contaminations surfaciques aux limites des seuils autorisés…). La méthode d'évaluation des rejets atmosphériques radioactifs est détaillée dans le volume VII de la présente étude d'impact.

Les éléments radioactifs gazeux présents et non piégés dans les déchets MA-VL sont le tritium (^{3}H), le carbone 14 (^{14}C) et le krypton 85 (^{85}Kr).

Les particules qui peuvent être présentes à la surface des colis de déchets contiennent des éléments radioactifs émetteurs de rayonnements alpha ou bêta/gamma qui peuvent être mis en suspension par les systèmes de ventilation. Ces éléments sont piégés par les filtres à très haute efficacité. Le reliquat des rejets dans l'atmosphère des gaz et potentielles particules radioactives non filtrées sont effectués au niveau des émissaires de ces ventilations (cheminées) sur la zone puits pour l'installation souterraine et sur la zone descenderie au niveau du bâtiment nucléaire de surface.

Les rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux sont évalués au niveau de chaque émissaire (la cheminée du bâtiment nucléaire de surface EP1 et la cheminée de ventilation de la zone en exploitation de l'installation souterraine).

Le bâtiment nucléaire EP2, dont la construction n'est envisagée qu'après plusieurs décennies de fonctionnement, recevra une majorité de colis de déchets HA vitrifiés qui n'émettront pas d'éléments radioactifs gazeux et quelques colis de déchets MA-VL qui ne sont pas encore produits. Le conditionnement de ces derniers respectera les critères techniques, appelés « spécifications d'acceptation », élaborés et contrôlés par l'Andra et s'appuiera sur les meilleures techniques disponibles du moment. Les rejets radioactifs atmosphériques annuels durant cette période seront faibles et du même ordre de grandeur que ceux réalisés durant le fonctionnement du bâtiment nucléaire EP1.

Le nombre de colis présents chaque année dans l'installation nucléaire de surface est considéré égal au nombre maximal de colis pouvant y transiter. Les rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux issus de l'installation nucléaire de surface, située sur la zone descenderie, sont présentés dans le tableau 2-21 ci-dessous.

Ces rejets sont exprimés en becquerel ou giga becquerel par an.

» GIGA

Giga (symbole G) est le préfixe du Système international d'unités (SI) qui représente 10^{9}, soit un milliard de fois l'unité qui suit.

Tableau 2-21 Rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux de l'installation nucléaire de surface

Cheminée de l'installation nucléaire de surface	Rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux
Tritium (^{3}H)	De l'ordre de 3 GBq/an
Carbone 14 (^{14}C)	De l'ordre de 3 GBq/an
Krypton 85 (^{85}Kr)	De l'ordre de 50 GBq/an
Émetteurs beta	De l'ordre de 600 Bq/an
Émetteurs alpha	De l'ordre de 60 Bq/an

Les rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux issus de l'installation souterraine, située sur la zone puits, sont présentés dans le tableau 2-22.

Tableau 2-22 Rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux de l'installation souterraine

Cheminée de l'installation souterraine	Rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux
Tritium (^{3}H)	De l'ordre de 300 GBq/an
Carbone 14 (^{14}C)	De l'ordre de 300 GBq/an
Krypton 85 (^{85}Kr)	De l'ordre de 5 000 GBq/an
Émetteurs beta	De l'ordre de 85 000 Bq/an
Émetteurs alpha	De l'ordre de 8 500 Bq/an

2.4.2.3.2 Concentrations dans l'air des émissions radioactives

Le logiciel utilisé pour modéliser la dispersion atmosphérique est la plateforme de calcul CERES (Code d'évaluations rapides environnementales et Sanitaires) version 6.2.5, en particulier le module GASCON (17), dédiée aux rejets continus chroniques et basé sur un modèle gaussien. Cet outil est également l'outil de référence du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) et les modèles physiques mis en œuvre ont déjà été analysés par l'Autorité de sûreté nucléaire et son support technique l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

Afin de localiser le maximum de concentration dans l'air sur le domaine d'étude du modèle de dispersion atmosphérique, un autre logiciel que CERES, code retenu en référence pour les calculs, a été utilisé. Il s'agit du code IMPACT développé par ARIA Technologies (10). L'avantage de CERES est qu'il couple le modèle de dispersion atmosphérique avec le modèle de transferts au travers des chaînes agro-alimentaires vers l'Homme et donc permet de calculer les doses directement à partir des rejets. IMPACT, qui modélise uniquement la dispersion atmosphérique, possède des fonctions supplémentaires telles que prendre en compte le relief, localiser un maximum de concentration sur le domaine d'étude et cartographier le panache issu de la modélisation. Les deux codes montrent des résultats similaires (de l'ordre du mBq/m³ pour les rejets du centre de stockage Cigéo).

» MODÈLE GAUSSIEN

Les modèles gaussiens permettent de simuler la dispersion atmosphérique de gaz et d'aérosols (de masse volumique proche de celle de l'air) *via* l'action du fluide porteur, l'air, à proximité de la source d'émission et jusqu'à plusieurs kilomètres. Le transport et la diffusion de ces gaz et aérosols dépendent du vent et de la turbulence atmosphérique d'origine mécanique ou thermique.

La modélisation de la dispersion permet de calculer les moyennes annuelles en concentrations dans l'air et en dépôts au sol (cf. Chapitre 3.5.1 du présent volume) de chaque élément radioactif rejeté au niveau des cheminées.

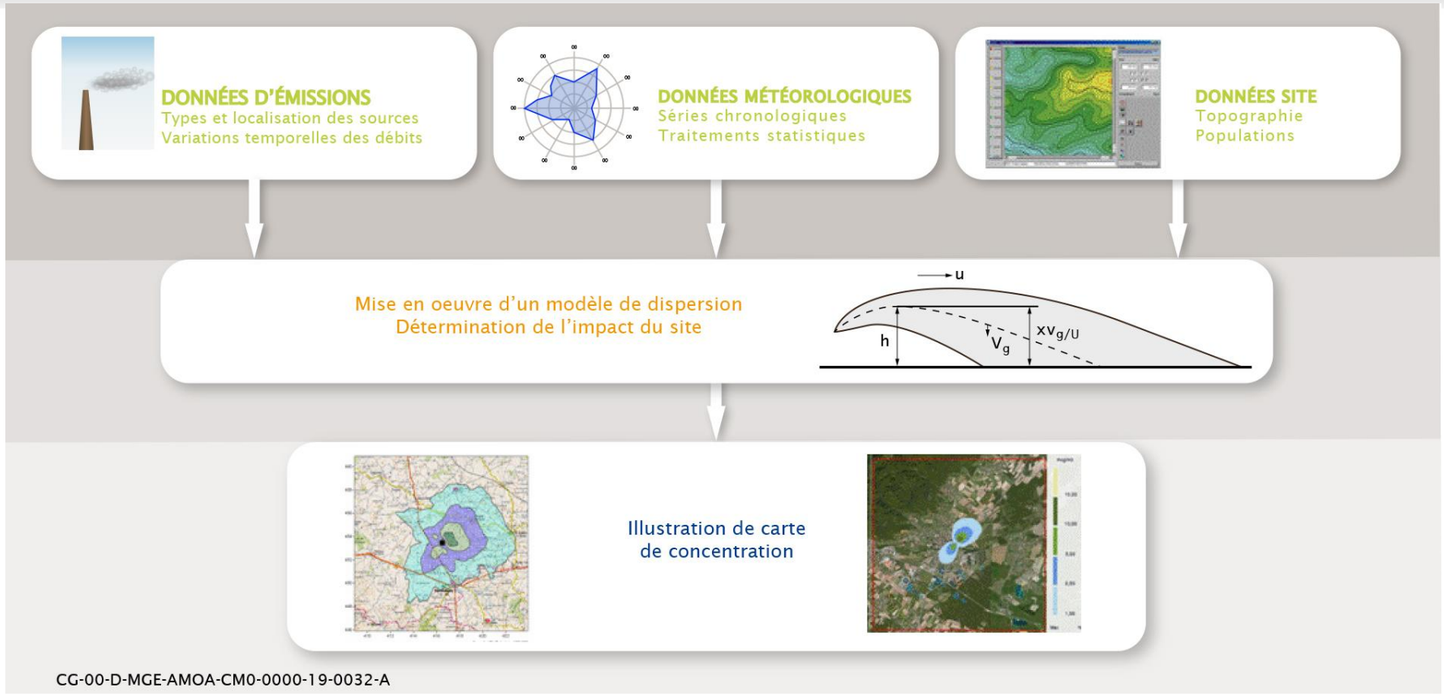


Figure 2-18 Illustration des modélisations de la dispersion atmosphérique des gaz et aérosols

Les conditions météorologiques sont représentées par un jeu de paramètres : la direction du vent, la vitesse du vent, la température extérieure, la pluviométrie et la stabilité de l'atmosphère. Ces paramètres sont variables dans le temps et dans l'espace. Ils résultent de la superposition de phénomènes atmosphériques à grande échelle (régime cyclonique ou anticyclonique) et de phénomènes locaux (influence de l'occupation des sols, de la topographie). Pour être pertinents, ils doivent être déterminés à partir de chroniques météorologiques suffisamment longues et complètes, mais aussi représentatives de la climatologie locale.

Les paramètres météorologiques pour la modélisation de la dispersion atmosphérique sont donc calculés à partir des données d'une station météorologique représentative des conditions du site. Le choix de cette station météorologique doit tenir compte :

- de sa position géographique : la station retenue doit être la plus proche possible de l'installation et il ne doit pas exister d'obstacle majeur entre la station et la zone d'étude des modélisations ;
- de la cadence d'acquisition des données météorologiques : il existe des stations où certains paramètres sont mesurés toutes les heures et d'autres tous les jours. Les données les plus fines permettent de prendre en compte les phénomènes météorologiques temporels (notamment les phénomènes diurnes) ;
- du type de données météorologiques acquises par rapport au besoin de modélisation (direction et force du vent, pluviométrie, température, nébulosité ou gradient thermique pour définir la stabilité atmosphérique).

La station météorologique d'Houdelaincourt est retenue pour les calculs de dispersion atmosphérique car elle fournit les conditions de vent représentatives du site[5]. Elle est située au nord-est des installations du centre de stockage à environ 10 km de la zone puits et environ 15 km de la zone descenderie.

Il est à noter que cette station météorologique a vocation à servir de référence pour le fond atmosphérique régional, et plus largement de par sa situation (altitude, éloignée de toute perturbation telle que des bâtiments ou bosquets), pour le quart nord-est de la France. C'est d'ailleurs une station météorologique utilisée pour de nombreux réseaux de suivi de la qualité de l'air nationaux comme ATMO Grand Est, association à but non lucratif agréée par le ministère chargé de l'environnement en charge de la surveillance de la qualité de l'air dans la région Grand Est, l'Observatoire Permanent de la Radioactivité de l'Air (réseau OPERA-Air de l'IRSN) et même internationaux tel que le réseau de suivi des gaz à effet de serre « Integrated Carbon Observation System » (ICOS).

Les données météorologiques de la station atmosphérique d'Houdelaincourt sont donc retenues comme données de référence pour l'évaluation de la dispersion des rejets radioactifs du centre de stockage Cigéo.

Une analyse statistique de ses données horaires sur une période de cinq ans (2015 à 2019), suffisamment longue et complète[6], mais aussi représentative de la climatologie locale, a été réalisée. La représentation des fréquences en direction et en force (vitesse) du vent obtenu à la station météorologique d'Houdelaincourt est présentée sur la figure 2-19. Les directions dominantes du vent apparaissent ainsi nettement.

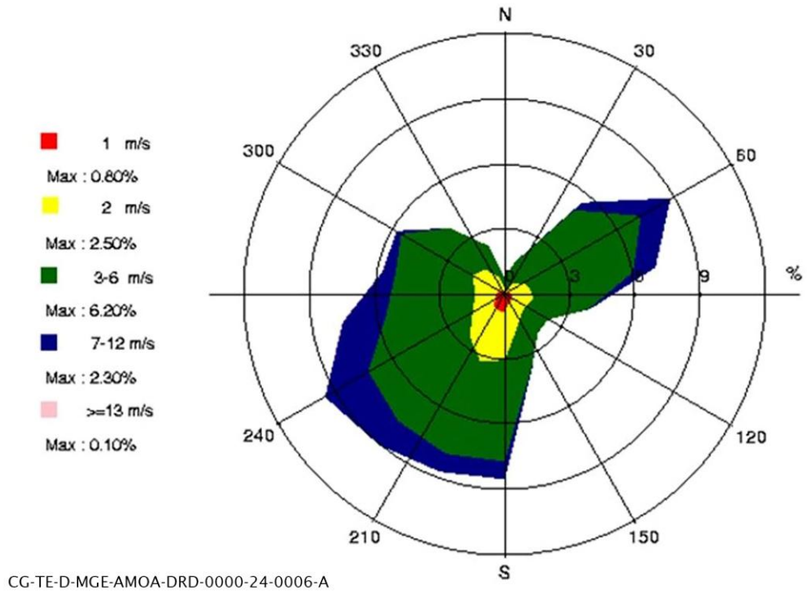


Figure 2-19 Rose des vents à la station atmosphérique d'Houdelaincourt

L'installation souterraine représente la source de rejets majoritaires de deux ordres de grandeur par rapport aux rejets et impacts de la zone descenderie. Les rejets de l'installation nucléaire de surface, localisée sur la zone descenderie, sont donc négligeables par rapport à ceux de la cheminée de l'installation souterraine, mais ils sont néanmoins pris en compte dans les calculs de dispersion et de dose.

Les résultats de la modélisation de la dispersion du tritium associés aux rejets atmosphériques maximaux (phase de fonctionnement) et calculés à l'aide de l'outil IMPACT, sont présentés sur la figure 2-20.

La cartographie illustre la concentration annuelle en tritium ajoutée dans l'air issue des rejets du centre de stockage Cigéo (zone descenderie et zone puits).

Les classes de concentrations retenues pour la représentation cartographique sont les suivantes :

- < valeur du bruit de fond (transparent) ;
- > valeur du bruit de fond et < au seuil de concentration conduisant à une dose de 1 millisievert par inhalation ;
- > au seuil de concentration équivalent à une dose de 1 millisievert.

Il n'existe pas de seuil réglementaire associé au niveau de radioactivité dans l'air. Seule existe une valeur réglementaire de dose ajoutée de 1 mSv/an correspondant à la limite de l'impact au public (code de la santé publique). Ainsi pour chaque élément gazeux radioactif émis par le centre de stockage Cigéo (tritium, carbone 14 et krypton 85), la correspondance en activité volumique dans l'air de cette valeur réglementaire a été calculée (cf. Chapitre 2 du volume VII de la présente étude d'impact) et présentée au tableau ci-dessous.

[5] Les données de la station météorologique de Saint-Dizier ne sont pas retenues pour cette évaluation sauf pour la nébulosité non suivie à Houdelaincourt car elle est située dans un contexte topographique différent du plateau du barrois et ne sont donc pas représentatives du site d'implantation du centre de stockage Cigéo. Comme mentionné au chapitre 1.2 du volume III de la présente étude d'impact, les données acquises depuis 1953 par cette station sont utilisées pour définir des conditions extrêmes ou historiques utilisées pour concevoir et protéger les installations des intempéries.

[6] L'Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) recommande de prendre en compte une chronique d'au moins trois années avec une fréquence maximale tri-horaire pour représenter la variabilité interannuelles des conditions météorologiques (12).

Tableau 2-23 Correspondance en activité volumique dans l'air de la limite d'impact au public

	Dose inhalation (Sv/an)	Activité volumique de l'air (Bq/m³)	Valeur du bruit de fond (Bq/m³)
Tritium	$1{,}00^{E\text{-}03}$	6 880	Entre 0,0014 et 0,0097
Carbone 14	$1{,}00^{E\text{-}03}$	20 000	Entre 0,025 et 0,145
Krypton 85	$1{,}00^{E\text{-}03}$	125 000	Entre 1,5 et 2,5

Sur cette figure, les zones en « bleu clair » représentent les concentrations les plus importantes dans l'air (supérieures au bruit de fond maximal).

Les concentrations issues de l'émissaire de la zone descenderie n'apparaissent pas car elles sont inférieures au bruit de fond (transparent).

Ces résultats reflètent l'influence des conditions météorologiques représentatives du site (rose des vents). En effet, les deux principaux panaches, sud-ouest et nord-est, correspondent aux deux directions principales de vent à la station d'Houdelaincourt (cf. Figure 2-19). Les concentrations dans le panache nord-ouest sont variables autour de l'Ormançon du fait que les émissions ont lieu au niveau du plateau. Ainsi, les vallées ne sont pas directement dans le panache et les concentrations en fond de vallée sont plus faibles.

L'environnement du projet global Cigéo est rural, avec des zones agricoles hétérogènes, et présente peu d'obstacles à la bonne dispersion des rejets. Les concentrations en gaz et aérosols radioactifs diminuent significativement avec la distance. Une baisse significative est observée sur les premiers kilomètres.

Les cartographies des autres éléments radioactifs rejetés (carbone 14 et le krypton 85) ne sont pas présentées car les niveaux de concentration sont très faibles (inférieurs au bruit de fond maximal) et ne seraient donc pas visibles compte tenu des classes de concentration retenues pour la représentation cartographique. Les panaches de dispersion sont semblables à ceux du tritium.

En ce qui concerne le carbone 14 dans les plantes, il peut être considéré un ratio constant entre l'activité dans l'air et la teneur dans les plantes, ce qui conduirait à une cartographie similaire à celles de l'activité volumique dans l'air.

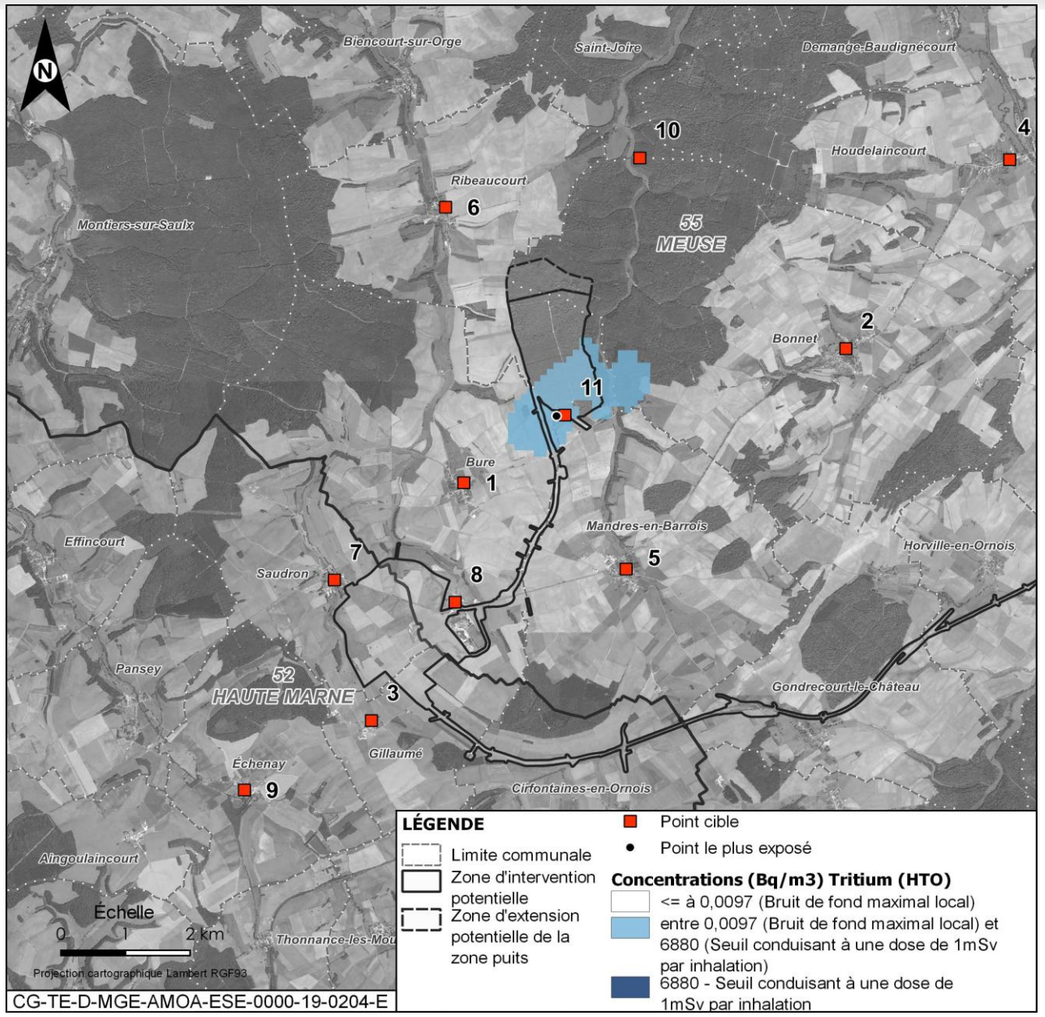


Figure 2-20 Illustration des concentrations maximales en tritium dans l'air associées aux rejets par le centre de stockage Cigéo

Les concentrations maximales en éléments radioactifs dans l'air, calculées à l'aide de l'outil IMPACT, situées à quelques centaines de mètres au sud-ouest de l'émissaire de la zone puits, sont restituées dans le tableau 2-24.

Tableau 2-24 *Concentrations annuelles maximales dans l'air des éléments radioactifs émis par le centre de stockage Cigéo en phase de fonctionnement*

	Concentration maximale dans l'air (Bq/m³)
Tritium	0,04 Bq/m³
14C	0,004 Bq/m³
85Kr	0,7 Bq/m³
Émetteurs beta	10 nBq/m³
Émetteurs alpha	1 nBq/m³

Les concentrations maximales dans l'air liées aux rejets de gaz et d'aérosols radioactifs du centre de stockage Cigéo, situées à quelques centaines de mètres de l'émissaire de la zone puits et en dehors des zones habitées sont faibles. Elles diminuent significativement avec la distance. À titre d'exemple, les concentrations au niveau du village de Bure sont plus faibles.

Les émissions radioactives du projet global Cigéo ont une incidence résiduelle très faible sur la qualité de l'air.

Aucune mesure compensatoire n'est mise en œuvre.

2.4.2.4 Synthèse des incidences et mesures relatives aux émissions de substances radioactives dans l'air

Le tableau 2-25 synthétise les mesures mises en œuvre afin de limiter les émissions radioactives dans l'air.

Tableau 2-25 Synthèse des mesures mises en œuvre pour limiter l'impact des émissions radioactives dans l'air dans le cadre du projet global Cigéo

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effet attendu de la mesure	Modalités de suivi	MOA	Opération
Émissions radioactives	Émissions radioactives : Niveau d'incidences potentielles : Notable						
	E3.2b - Conditionnement des déchets radioactifs (colis primaires), selon les spécifications d'acceptation fixées par l'Andra	E	F	Évitement de la dispersion d'éléments radioactifs dans l'environnement	Suivi de la qualité des colis de déchets radioactifs (contrôles de la production au stockage en alvéole)	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB
	E3.2b - Absence d'ouverture des colis et de traitement des déchets radioactifs (HA et MA-VL)	**E**	**F**	Évitement de toute dispersion d'éléments radioactifs	-	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB
	E3.2b - Émissions atmosphériques radioactives canalisées et rejetées *via* des émissaires	E	F	Évitement de la dispersion d'éléments radioactifs dans l'environnement	Suivi du fonctionnement des systèmes de ventilation et maintenance associée	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB
	R2.2z - Systèmes de ventilation nucléaires équipés de filtres à très haute efficacité (rétention de 99,9 % des aérosols au minimum)	R	F	Réduction des rejets d'aérosols radioactifs dans l'environnement	Suivi du colmatage des filtres et maintenance associée	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB
	R2.2z - Émissaires de rejets canalisés en hauteur	R	F	Réduction des concentrations en gaz et aérosols radioactifs dans l'air	Mesure des rejets radioactifs	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB
	R2.2z - Mesure de la dose ambiante dans les zones contenant des colis de déchets radioactifs	R	F	Alerte en cas de situation anormale	Suivi du fonctionnement des équipements et maintenance associée	Andra	Centre de stockage Cigéo – Périmètre INB
	Émissions radioactives : Niveau d'incidences résiduelles : Très faible						

*Ty e de mesure : **E :** évitement ; **R :** réduction ; **C :** compensation ; **A** : accompagnement.*

*Phase : **APR** : aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement.*

Le projet global Cigéo vient s'insérer dans un environnement rural et à l'écart des activités nucléaires.

Le transfert et le stockage des colis de déchets radioactifs (au sein du périmètre de l'installation nucléaire de base) pendant la phase de fonctionnement sont à l'origine de rejets de gaz radioactifs tels que le tritium (^{3}H), le carbone 14 (^{14}C), le krypton 85 (^{85}Kr) et d'aérosols radioactifs, émetteurs alpha et bêta. Ces rejets sont très faibles. Les rejets de l'installation souterraine représentent la source majoritaire de plusieurs ordres de grandeur. Les rejets de l'installation nucléaire de surface, localisée sur la zone descenderie, sont négligeables devant ceux de la cheminée de l'installation souterraine. Les systèmes de ventilation nucléaires sont équipés de filtres à très haute efficacité retenant 99,9 % des aérosols au minimum. La hauteur des émissaires de rejet est suffisante pour assurer la bonne diffusion des rejets gazeux. Une mesure de la dose ambiante dans les zones contenant des colis de déchets radioactifs est assurée en permanence par des balises atmosphériques de radioprotection couplées avec des alarmes (visuelle, sonore) permettant de prévenir d'une situation anormale.

Les modélisations de dispersion atmosphérique effectuées montrent que les concentrations maximales dans l'air liées à ces rejets de gaz et d'aérosols radioactifs, situées à quelques centaines de mètres de l'émissaire de la zone puits et en dehors des zones habitées, sont très faibles. Elles diminuent significativement avec la distance.

Les rejets radioactifs du projet global Cigéo ont une incidence très faible sur la qualité de l'air.

2.4.2.5 Incidences liées aux émissions radioactives atmosphériques sur la santé humaine

Lors de la phase de fonctionnement, les activités sur du projet global Cigéo conduisent à des « émissions » radioactives atmosphériques dans l'environnement. L'étude des incidences (effets potentiels) de ces émissions radioactives sur la santé des populations environnantes se trouve ici synthétisée, cette analyse étant détaillée au volume VI de la présente étude d'impact.

Le projet global Cigéo accueillera des colis de déchets de haute activité et de moyenne activité à vie longue (HA et MA-VL) pendant toute sa phase de fonctionnement. Ces colis de déchets sont acheminés au centre de stockage Cigéo puis transférés au sein des installations jusqu'aux alvéoles de stockage dans la couche du Callovo-Oxfordien. Pendant leur transport sur la voie publique ou privée et leur transfert au sein des installations du centre de stockage Cigéo, ils ne subissent aucune transformation, et sont uniquement manipulés, à distance, pour être stockés en souterrain.

Les sources d'émissions radioactives du projet global identifiées sont liées aux relâchements gazeux de quelques radionucléides (tritium, carbone 14 et krypton 85) par certains colis de déchets MA-VL, à la présence potentielle de contamination labile sur les surfaces externes des colis de déchets qui sont réceptionnés.

- **Les émissions radioactives atmosphériques**

  Les radionucléides gazeux qui proviennent de certains colis de déchets sont le tritium (^{3}H), le carbone 14 (^{14}C) et le krypton 85 (^{85}Kr). Ces trois radionucléides sont très volatils et restent à l'état gazeux ou sous forme de vapeur d'eau, sans former d'aérosols. Ils sont également faiblement radiotoxiques. Les aérosols radioactifs (émetteurs alpha et bêta) pouvant être présents sur la surface externe des colis de déchets radioactifs (aussi appelée contamination surfacique labile) peuvent être mis en suspension par la ventilation des ouvrages.

  Les mesures d'évitement et de réduction mises en œuvre sur le projet global Cigéo visent à la fois à éviter et à réduire les effets liés à la présence de ces radionucléides et donc l'exposition des populations. L'ensemble de ces mesures ainsi que leurs effets attendus et modalités de suivi sont exposés aux chapitres 2 et 10 du présent volume.

  L'évaluation des risques sanitaires et des incidences sur la santé humaine liés à ces émissions radioactives est réalisée selon une démarche prudente, avec des hypothèses pénalisantes (majorantes à chaque étape :

  - ✓ l'évaluation des rejets radioactifs (avec des relâchements des éléments gazeux sans considérer une capacité de rétention par le conteneur, une contamination surfacique labile des moyens de transport, des emballages et des colis au niveau maximal des seuils autorisés, la présence de colis de déchets radioactifs dans l'installation nucléaire de surface au maximum de sa capacité…) ;
  - ✓ l'évaluation de la dispersion de ces rejets radioactifs puis de leur transfert dans l'environnement et la chaîne agro-alimentaire (avec un taux de présence des individus sur le lieu d'exposition égal à 100 %, un air à l'intérieur des habitations considéré identique à l'air provenant de l'extérieur…) ;
  - ✓ l'évaluation de l'exposition humaine par le calcul d'une dose efficace engagée (avec la forme chimique du tritium la plus pénalisante, des émetteurs alpha et beta assimilés à des radionucléides pénalisants, en considérant plusieurs classes d'âges de population…).

  Les populations les plus exposées aux rejets atmosphériques radioactifs du projet global Cigéo sont, compte tenu de la nature et de la quantité des émissions, celles qui se trouvent être les plus proches du centre de stockage Cigéo, sous les vents dominants, et notamment de l'émissaire de la ventilation nucléaire de la zone puits.

  Les évaluations sont réalisées avec la plateforme de calcul CERES (Code d'évaluations rapides environnementales et sanitaires), outil de référence pour de nombreuses installations nucléaires de base et dont les modèles physiques mis en œuvre ont déjà été approuvés par l'Autorité de sûreté nucléaire et son support technique l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

  L'exposition humaine maximale liée aux émissions radioactives atmosphériques est extrêmement faible au niveau du village de Bure, de l'ordre du microsievert par an (µSv/an), soit plus de mille fois inférieure au millisievert (mSv). L'exposition humaine pour les autres villages environnants dans un rayon d'environ 8 km est en ore plus faible : entre 20 % et 40 % en dessous de l'exposition potentielle de la commune de Bure). Par ailleurs, l'exposition aux convois de transport, qui ne contiendront qu'un nombre très limité de colis de déchets radioactifs et dont les passages sont peu fréquents et limités dans le temps, est encore beaucoup plus faible que celle liée aux installations du centre de stockage Cigéo.

- **Risque sanitaire lié aux émissions radioactives**

  En phase de fonctionnement, l'exposition humaine liée aux émissions du projet global Cigéo est ainsi largement inférieure à la contrainte réglementaire de 1 mSv/an pour les activités humaines en dehors de la radioactivité naturelle et des doses reçues en médecine et à celle de 0,25 mSv/an retenue par l'Andra. Elle est imperceptible au regard de l'exposition annuelle due à la radioactivité naturelle de la population française, même la moins exposée (moyenne à 2,9 mSv/an, et fourchette basse, correspondant à la zone de Meuse/Haute-Marne à 1,6 mSv/an). Compte tenu de la diminution rapide des concentrations en gaz et aérosols radioactifs des rejets radioactifs atmosphériques avec la distance et des faibles quantités mises en jeu, les effets du projet global ne se cumulent pas avec d'autres projets et installations nucléaires de la région.

Les incidences résiduelles des émissions radioactives atmosphériques du projet global Cigéo sur la santé humaine en phase de fonctionnement sont très faibles.

2.5 Compatibilité du projet global Cigéo avec les documents de planification relatifs à l'air, l'énergie et le climat

2.5.1 Compatibilité du projet global Cigéo avec les plans de planification (hors SRADDET)

Les documents de planification relatifs à l'air, l'énergie et le climat sont présentés dans le chapitre 1.2.1 du volume III de la présente étude d'impact. Ces documents sont :

- les plans nationaux :
  - ✓ programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) ;
  - ✓ stratégie nationale bas-carbone (SNBC) ;
  - ✓ plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) ;
  - ✓ stratégie nationale de mobilisation de la biomasse ;
  - ✓ plan national santé environnement (PNSE).
- les plans locaux :
  - ✓ plan climat air énergie territorial (PCAET) ;
  - ✓ plan régional santé environnement (PRSE) Grand Est ;
  - ✓ plan de prévention de l'atmosphère (PPA) ;
  - ✓ schéma régional de biomasse Grand Est ;
  - ✓ schéma de cohérence territoriale (ScoT) du Pays Barrois ;
  - ✓ plan climat territorial (PCT) du Pays Barrois.

En adéquation avec les accords internationaux, la France traduit sa politique de lutte contre le réchauffement climatique et de préservation de la qualité de l'air dans des lois dont les orientations et les objectifs sont déclinés dans des documents locaux.

Tous ces documents visent une baisse importante des gaz à effet de serre par :

- la réduction des consommations énergétiques ;
- le recours aux énergies renouvelables ;
- l'amélioration de l'isolation des bâtiments ;
- la baisse de la consommation des ressources ;
- la réduction des déchets.

Ils visent aussi la réduction de l'émission de polluants atmosphériques par :

- l'innovation technologique ;
- l'évolution de l'offre de mobilité.

Comme le montrent les deux chapitres 2.3 et 2.4 du présent volume, le projet global Cigéo intègre ces objectifs dès sa conception et pendant ses phases de construction initiale et de fonctionnement.

2.5.2 Compatibilité du projet avec les règles du SRADDET Grand Est

Le SRADDET de la région Grand Est, approuvé le 24 janvier 2020 (18), est constitué d'un état des lieux et d'enjeux, desquels découle une stratégie en 30 objectifs. Ces objectifs sont accompagnés de règles générales dont la portée est prescriptive.

Le projet global Cigéo est compatible avec les règles relatives au chapitre « Climat-Air-Énergie » du SRADDET. Cette compatibilité est étudiée au travers du tableau 2-26.

Tableau 2-26 Prise en compte des règles Climat-Air-Énergie du SRADDET Grand Est dans le projet global Cigéo

Règles	Énoncé de la règle	Prise en compte dans le projet global Cigéo	Exemple de mesures ERC du projet contribuant au respect des règles
1. Atténuer et s'adapter au changement climatique	Définir et mettre en œuvre des stratégies d'atténuation et d'adaptation au changement climatique.	Adaptation : le projet prend en compte les évolutions du climat sur la base des scénarios du GIEC. Atténuation : Les mesures décrites et listées aux chapitres 2.2 « Vulnérabilité aux risques météorologiques » et chapitre 2.3 « Energie et gaz à effet de serre » du présent volume.	R : Conception des installations nucléaires et de protection, des équipements électriques pour résister aux hausses de température et aux vagues de chaleur R : Choix des essences pour la végétalisation du site et dans le cadre de la compensation de sorte qu'ils résistent aux changements climatiques R : Bassins de collecte et de bassins de rétention des eaux capables de recueillir de fortes précipitations
2. Intégrer les enjeux climat-air-énergie dans l'aménagement, la construction et la rénovation	Intégrer les enjeux climat-air-énergie dans tout projet de renouvellement ou d'extension urbaine selon une approche qualitative et croisée de ces enjeux dans les différents volets (aménagement, bâti, mobilité, éclairage public).	Les enjeux climat air énergie dans l'aménagement du projet sont pris en compte dans le projet dès sa conception.	L'ensemble des mesures présentées aux chapitres 2.1, 2.2, 2.3 et 2.4 du présent volume permettent de répondre à cette règle.
3. Améliorer la performance énergétique du bâti existant	Intégrer dans les objectifs d'amélioration et de réhabilitation du parc bâti des critères de performance énergétique dans le respect de la qualité patrimoniale et architecturale du bâti et des qualités paysagères des sites.	Le bâti existant réutilisé pour le projet global Cigéo inclut la voie ferrée 027000 et une partie de l'ITE.	Non concerné
4. Rechercher l'efficacité énergétique des entreprises	Mettre en œuvre des actions pour améliorer l'efficacité énergétique et la diminution de l'empreinte carbone des entreprises et, plus globalement, encourager les démarches collectives.	La recherche de l'efficacité énergétique se traduit par la mise en place de dispositifs d'utilisation rationnelle de l'énergie définis pendant la conception du projet. Des exemples sont présentés dans la colonne de droite. Le détail des mesures est présenté au chapitre 2.3 du présent volume.	R : Utilisation rationnelle de l'énergie R : Critères de sobriété énergétique lors de la consultation des entreprises
5. Développer les énergies renouvelables et de récupération	Favoriser le développement des énergies renouvelables et de récupération en tenant compte du potentiel local des filières existantes, émergentes et d'avenir, dans le respect des usages et des fonctionnalités des milieux forestiers, naturels et agricoles ainsi que des patrimoines et de la qualité paysagère.	Des installations (cf. Colonne de gauche) permettant de réduire la dépendance au gaz naturel sont à l'étude. Ces installations sont données en exemple dans la colonne de gauche et les mesures sont détaillées au chapitre 2.3 du présent volume « Gaz à effet de serre »	R : Recours aux énergies renouvelables

Règles	Énoncé de la règle	Prise en compte dans le projet global Cigéo	Exemple de mesures ERC du projet contribuant au respect des règles
6. Améliorer la qualité de l'air	Définir des orientations, objectifs, mesures et/ou actions qui concourent à la réduction des émissions de polluants atmosphériques à la source et limiter l'exposition des populations. Pour cela, les plans et programmes doivent mobiliser dans la limite de leurs domaines de compétences respectifs, les leviers ayant un impact direct ou indirect sur les émissions de polluants atmosphériques et le niveau d'exposition des populations. Participer, dans les limites des domaines de compétences respectifs, à l'atteinte des objectifs de réduction des émissions de polluants atmosphériques à la source et limiter l'exposition des populations.	Les émissions de substances dans l'air sont aussi réduites que possibles, elles font l'objet d'un suivi visant à assurer le respect des valeurs réglementaires de protection de la santé. Les mesures d'évitement et de réduction des incidences du projet global sur la qualité de l'air sont décrites au chapitre 2.4 « Qualité de l'air » du présent volume	E : Utilisation d'un convoyeur semi-enterré pour le transport de matériaux entre les zones puits et descenderie entraînant la réduction du nombre de camions émetteurs de poussières et autres substances (Sox, CO Nox, COV) E : Réutilisation des infrastructures existantes pour limiter les travaux et le trafic associé R : Brumisation des verses non couvertes pour limiter l'envol de poussières au droit des zones de dépôts des verses R : Prise en compte de la météo pour certaines opérations susceptibles de générer des envols de poussières (chaulage par exemple) R : Adaptation des équipements pour limiter les envols de poussières (bâchage des camions, système de filtration des poussières, etc.) etc.

3

Sol – Incidences et mesures

3.1	Incidences potentielles	72
3.2	Mesures d'évitement	72
3.3	Modification du relief, terrassements et mouvements de terres	73
3.4	Changement d'occupation des sols	76
3.5	Pollution des sols	85
3.6	Synthèse des incidences et mesures sur les sols	90

3.1 Incidences potentielles

Le projet global Cigéo, du fait des surfaces importantes qu'il nécessite et de sa dimension industrielle et nucléaire, peut impacter les sols de diverses manières :

- le centre de stockage et les opérations d'alimentation électrique, de modernisation de la ligne ferroviaire 027000 et de déviation de la route départementale D60/960 viennent modifier l'occupation des sols puisqu'ils s'installent sur des terrains actuellement forestiers et/ou agricoles ;
- les terrassements préalables aux constructions et aux aménagements associés du centre de stockage Cigéo sur plusieurs centaines d'hectares vont modifier le relief localement ;
- les travaux de construction du centre de stockage Cigéo et l'activité industrielle peuvent être à l'origine de dépôts de polluants à la surface du sol.

Le centre de stockage Cigéo, qui s'étend sur plusieurs centaines d'hectares, induit une incidence potentielle notable sur le changement d'occupation des sols. Bien que leurs incidences soient moins importantes que pour le centre de stockage, les opérations d'alimentation électrique, la mise à niveau de la voie ferrée, ainsi que la déviation de la route départementale D60/960 ont des incidences potentielles notables.

Concernant les incidences potentielles sur la modification du relief, seul le centre de stockage Cigéo présente des incidences potentielles notables.

Concernant les incidences sur la pollution des sols, en raison du lien avec le déroulement d'un chantier, les incidences potentielles du projet global Cigéo sont considérées comme notables à l'exception de l'opération d'expédition de colis.

Le tableau 3-1 synthétise les incidences potentielles du projet global Cigéo sur le sol.

Tableau 3-1 Incidences potentielles du projet global Cigéo sur le sol

Effets potentiels	Centre de stockage Cigéo	Alimentation électrique (création de postes de transformation, de lignes enterrées et sécurisation de la ligne 400 kV)	Adduction d'eau	Mise à niveau de la voie ferrée 027000	Déviation de la route départementale D60/960	Expédition et transport des colis de déchets radioactifs
Changement d'occupation des sols	APR, CI, F	APR		APR	APR, CI, F	
Modification du relief : terrassements et mouvements de terres	APR, CI, F					
Pollution des sols	APR, CI, F	APR, CI	APR, CI	APR, CI, F	APR, CI, F	

En orange : incidence potentielle notable ; en bleu : incidences potentielles non notable ; ***APR*** *: phase d'aménagements préalables ;* ***CI*** *: construction initiale ;* ***F*** *: fonctionnement*

3.2 Mesures d'évitement

3.2.1 Réutilisation d'installations existantes

Mesure d'évitement – E3.2b : réutilisation d'installations existantes			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Occupation du sol **Agriculture**	Andra	Centre de stockage Cigéo (ITE)	APR
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000	

L'Andra a choisi de privilégier le transport ferroviaire pour l'acheminement des matériaux de construction puis des colis de déchets radioactifs depuis leur centre de production vers leur centre de stockage. En amont du débat public, les producteurs de déchets ont mené une étude exploratoire sur sept scenarios regroupés en deux catégories (cf. Chapitre 2.5.3.6 du volume II de la présente étude d'impact) :

- soit « tout ferroviaire », sans rupture de charge, jusqu'à un centre de stockage Cigéo embranché. Trois scenarios ont été analysés ;
- soit « mixte routier/ferroviaire », avec rupture de charge, jusqu'à un centre de stockage Cigéo non embranché (quatre scenarios).

Chaque scenario étudié repose sur l'utilisation de voies ferrées existantes (plutôt que d'en créer de nouvelles).

À la suite du débat public, un scenario « tout ferroviaire » sans « rupture de charge » (scénario 3) a été retenu. Il consiste en un raccordement ferré depuis la ligne Nançois-Tronville/Gondrecourt-le-Château jusqu'à la zone descenderie. Cette ligne est dédiée au transport de fret ; les deux autres scenarios « tout ferré » étudiés reposant sur des lignes voyageurs/fret. De plus, l'ITE à créer est la plus courte par rapport aux deux autres scenarios.

Ainsi, le scénario retenu pour le projet global Cigéo réutilise les installations existantes suivantes :

- la ligne ferroviaire 027000 entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château ;
- la plateforme ferroviaire de l'ancienne voie ferrée Gondrecourt-le-Château/Joinville sur une distance de 10 km pour la création de l'ITE.

La réutilisation de ces installations existantes évite la consommation de sols non artificialisés.

Modalité de suivi

Un suivi de la liste des installations et infrastructures réutilisées sera tenu, tout comme l'occupation des sols (nature et surface en ha).

3.2.1.1 La réhabilitation de la ligne ferroviaire 027000

La ligne ferroviaire 027000 était utilisée pour le transport de fret de la gare de Nançois-Tronville jusqu'à Gondrecourt-le-Château. La réouverture de la ligne ferroviaire 027000 fermée à la circulation depuis 2014 nécessite des travaux de mise à niveau sans impliquer de modification de tracé (cf. Chapitre 3.3.3 du volume II de la présente étude d'impact).

3.2.1.2 L'installation terminale embranchée

La majeure partie de l'ITE est installée sur une ancienne plateforme ferroviaire. Ainsi, sur les 14 km de voies ferrées nécessaires pour relier le centre de stockage au réseau ferré national, 10 km seront installés sur la plateforme ferroviaire existante de l'ancienne voie ferrée entre Gondrecourt-le-Château et Cirfontaines-en-Ornois. Seuls les quatre derniers kilomètres entre Cirfontaines-en-Ornois et la zone descenderie nécessitent la création d'une nouvelle plateforme pour y implanter la voie ferrée.

En 2011, l'Andra s'est portée acquéreur d'une friche industrielle située à Gondrecourt-le-Château, le long de la ligne ferroviaire 027000. Elle sert actuellement au CMHM pour le stockage d'échantillons géologiques et de divers matériels. Dans le cadre du projet, cette ancienne friche industrielle, déjà reconvertie pourra servir à l'installation des bases vie et des équipements de chantier nécessaires pour l'ITE ou encore au stockage de flux de matériaux pour les opérations du centre de stockage Cigéo.

3.2.1.3 Modalité de suivi

Un suivi de la liste des installations et infrastructures réutilisées à toutes les étapes clefs de la conception sera réalisé.

3.2.2 Utilisation de la voirie existante, des chemins et autres pistes ainsi que les layons existants

Mesure d'évitement – E3.2b : réutilisation d'installations existantes

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Phase(s)
Occupation du sol	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, LIS, ITE)	APR
	CD52	Déviation de la route départementale D60/960	
	RTE	Alimentation électrique	
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000	
	SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau	

Afin d'éviter toute incidence sur les sols par la création d'accès provisoires, l'utilisation de la voirie existante, des chemins et autres pistes ainsi que les layons existants en milieu forestier seront privilégiés pour accéder aux zones de travaux.

Modalité de suivi

Un suivi de l'utilisation de la voirie existante, des chemins et autres pistes sera réalisé à toutes les étapes clefs de la conception. Le suivi de l'occupation des sols en nature et en surface sera également effectué.

3.3 Modification du relief, terrassements et mouvements de terres

3.3.1 Incidences après mesures d'évitement

3.3.1.1 Terrassements et mouvements de terre du centre de stockage Cigéo (installations de surface)

Les terrassements ont pour objectif d'adapter la topographie du site d'implantation au projet afin d'assurer une assise optimale des ouvrages et de répondre aux contraintes techniques comme aux contraintes de sécurité liées au fonctionnement futur. Les terrassements sont à l'origine de mouvements de terres appelés déblais ou remblais.

Pour le projet global Cigéo, 613 ha de surface sont remaniés, dont 568 ha concernant le centre de stockage Cigéo (avec 269 ha pour la zone descenderie et 223 ha pour la zone puits en intégrant la Z3).

» DÉBLAIS/REMBLAIS

Les opérations de terrassement distinguent les **remblais** qui correspondent à un apport de matériau pour surélever le terrain ou remplir une cavité, et les **déblais** qui correspondent à un enlèvement de matériau pour abaisser ou niveler le terrain.

Actuellement, la topographie au droit de la zone descenderie présente un modelé doux et ondulé à partir de la colline du Haut de Gillaumé (à environ 386 m NGF). À partir de ce point haut situé au sud-est de la future zone descenderie, la pente du terrain naturel est douce dans toutes les directions cardinales. À l'ouest, la pente est orientée vers la vallée de l'Orge qui dessine une ligne de points bas. Au nord, elle est dirigée vers la route départementale D60/960 et à l'est, le CMHM est en contrebas de la colline du Haut de Gillaumé.

La topographie du terrain naturel a été prise en compte dans l'organisation générale de la zone descenderie. L'entrée se fait à l'est du site à proximité du CMHM. Les différentes plateformes ou zones de travail qui ont été définies à partir des courbes du terrain naturel et des voiries pour permettre l'implantation des différents ouvrages (bâtiments, utilités, bassins, etc.) sont situées à des altimétries intermédiaires.

La zone puits s'appuie sur le coteau ouest de la vallée de l'Ormançon. Au sein d'un espace forestier, cette dernière présente une forte déclivité d'ouest en est. Situé à l'ouest de la future zone puits, le point culminant se trouve à 391 m NGF. Les plateformes de la zone puits sont organisées en terrasses étagées vers l'Ormançon.

Toutefois, la nature du projet et les contraintes de sécurité associées impliquent des mouvements de terres importants au cours des travaux, particulièrement au moment des aménagements préalables et dans une moindre mesure en phase de construction initiale. Les travaux d'aménagements préalables sur le centre de stockage Cigéo visent d'abord la viabilisation et l'organisation des zones de surface pour y installer les premières entreprises de construction. Ils visent ensuite le terrassement des plateformes d'accueil des utilités (eau, électricité, télécommunication). Ils s'étendent progressivement aux terrassements de l'ensemble des zones de surface du centre de stockage Cigéo (zone descenderie, zone puits, liaison intersites, installation terminale embranchée). Ces travaux ont pour objectif de préparer la phase de construction initiale qui consistera en la construction des installations du centre de stockage Cigéo (construction d'installations en surface, creusement et construction des premiers ouvrages souterrains).

La topographie du site évolue pendant toute la durée de la phase d'aménagements préalables. En effet, les travaux de terrassement vont générer des mouvements de terre pour stocker temporairement les déblais à certains endroits du site en attendant leur réutilisation en tant que remblais. Les plateformes, voiries et réseaux étant mis en place pendant la phase d'aménagements préalables, les mouvements de terre au cours des phases ultérieures seront beaucoup moins importants.

En zone descenderie, la réalisation des principaux ouvrages en terre conduit à des travaux de déblais jusqu'à 17 mètres de profondeur pour le terminal ferroviaire fret et des travaux de remblais jusqu'à 15 mètres de haut (cf. Chapitre 2.6.1 du volume II de la présente étude d'impact).

En zone puits, la réalisation des principaux ouvrages en terre conduit à des travaux de déblais jusqu'à 12 mètres de profondeur et des travaux de remblais jusqu'à 18 mètres de hauteur (cf. Chapitre 2.6.1 du volume II de la présente étude d'impact).

À l'issue des travaux, les modifications perdureront tout au long du projet.

Comme décrit au chapitre 2.6.1 du volume II de la présente étude d'impact, pendant la phase d'aménagements préalables, les déblais issus des nivellements pour les installations de surface représentent un volume de terre en place de l'ordre de :

- 4,7 millions de m^3 pour la zone descenderie ;
- 3,3 millions de m^3 pour la zone puits.

Pendant les phases de construction initiale et de fonctionnement, les déblais issus des nivellements complémentaires pour les installations de surface, principalement les bâtiments nucléaires, les creusements des liaisons surface fond et l'extension des zones de verses (Z2 et Z3) représentent un volume de terre en place de l'ordre de :

- 1,6 millions de m³ pour la zone descenderie ;
- 2,8 millions de m³ pour la zone puits.

Les opérations de jouvence pourront également nécessiter quelques terrassements ou mouvements de terre ponctuels. Ils seront également circonscrits à l'intérieur du centre de stockage et situés au plus près de l'ouvrage concerné.

L'ensemble des terres et matériaux déblayés sera utilisé en tant que remblais *in situ* de façon à équilibrer le bilan déblais/remblais.

3.3.1.2 La zone de gestion des verses

Le volume global de matériaux argileux issus du Callovo-Oxfordien transitant sur la plateforme de gestion des verses au nord de la zone puits correspond à environ 11 millions de m³. La surface concernée par la gestion des verses correspond à une surface remaniée de 147 ha (en considérant la Z3 potentiellement mobilisable à l'horizon 2070-2080 si les filières de valorisation étaient compromises) et permet :

- la mise en attente des verses vives (environ 40 % du volume extrait total) ;
- l'entreposage des terres réutilisées progressivement pour le couvert végétal des verses ;
- la gestion des flux de verses mortes qui sont évacuées hors du site pour valorisation.

Compte tenu de la topographie du site présentant un dénivelé vers la vallée de l'Ormançon, la zone de verses est aménagée sur des plateformes étagées munies d'une digue sur leur périphérie nord, ouest et sud. Cette digue permet d'optimiser les surfaces de dépôt et de limiter la consommation de l'espace boisé. Les verses situées dans le prolongement du versant pentu de l'Ormançon et en arrière du point culminant du bois Lejuc sont organisées en pyramide étagée dont la pointe présente une hauteur maximum de 20 mètres comme la butte du Chaufour. Leur intégration dans le relief est ainsi optimisée. Elles bénéficient également du masque paysager constitué par la lisière de la zone puits et sont progressivement végétalisées. Par ailleurs, à la fin de la phase de fonctionnement, elles sont utilisées partiellement pour fermer l'installation souterraine.

Les mouvements de terre et le stockage des matériaux argileux issus du Callovo-Oxfordien modifient notablement le relief de la zone d'implantation potentielle : la zone descenderie est aplanie, le relief de la zone puits est accentué. Cependant les nouveaux modelés s'inscrivent dans les proportions des reliefs existants (cf. Chapitre 14.1.5 du présent volume). La zone descenderie accentue le replat du revers de côte sur lequel elle s'inscrit.

3.3.1.3 Effets indirects des terrassements et mouvements de terre

La modification de la topographie liée aux travaux de terrassement engendre plusieurs effets indirects :

- la mise à nu des terrains qui, sans protection végétale, sont plus sensibles à l'érosion. Le modèle RUSLE de l'ESDAC (*European Soil Data Center*) indique des valeurs d'érosion hydrique des sols globalement faibles sur la zone d'intervention potentielle, sauf localement, où les fortes pentes ont des valeurs d'érosion plus élevées, comme dans la vallée de l'Ornain. Les aléas érosifs restant faibles (absence d'aléas historiques recensés et d'indicateurs morphologiques sur le terrain), et la vallée de l'Ornain n'étant pas impactée directement par les travaux, les incidences du projet global Cigéo en termes d'érosion des sols, en particulier liées aux défrichements de bois, sont considérées comme faibles ;
- le changement des propriétés des terres entreposées qui sont d'abord décompactées lors de leur extraction puis qui peuvent subir des tassements lors de leur période de dépôt ; l'exposition aux agents météoritiques participent aussi à leur transformation ;
- le tassement des sols sous le passage répété des engins ;
- l'émission de poussières et de bruits lors des terrassements ; ces aspects sont développés aux chapitres 2.4 pour l'air et 13.1 pour le bruit, du présent volume ;
- l'émission de gaz à effet de serre ; cet aspect est développé au chapitre 2.3 du présent volume ;
- la destruction d'habitats et d'espèces vivants dans les sols ; cet aspect est développé au chapitre 6 du présent volume ;
- la dissémination éventuelle d'espèces envahissantes lors des mouvements de terre ; cet aspect est développé au chapitre 6 du présent volume ;
- l'éventuelle pollution des sols puis des masses d'eau liée principalement à un déversement accidentel d'hydrocarbure par les engins de chantier (cf. Chapitres 3.5 du présent volume).

3.3.1.4 Terrassements et mouvements de terre pour les autres opérations du projet global Cigéo

Dans une moindre mesure, des terrassements et des mouvements de terre sont nécessaires en phase d'aménagements préalables pour :

- aplanir la plateforme accueillant le poste de transformation 400/90 kV à proximité de la zone descenderie ;
- réaliser les tranchées de quelques mètres de large pour les liaisons électriques enterrées entre les zones puits et descenderie ;
- réaliser les tranchées de quelques mètres de large pour les adductions d'eau depuis les trois points de captages ;
- étayer ponctuellement les ouvrages d'art des éventuels rétablissements de passages à niveau le long de la ligne ferroviaire 027000 ;
- aplanir la plateforme accueillant la déviation de la route départementale D60/960 à proximité de la zone descenderie et créer des ouvrages de franchissement des cours d'eau pour les variantes sud et nord.

Tableau 3-2 Estimation des ordres de grandeurs des déblais et remblais générés par les quatre autres opérations du projet global

Opération	Déblais	Remblais
Alimentation électrique	Autour de 100 000 m³	Autour de 60 000 m³
Adduction d'eau	Autour de 100 000 m³	Autour de 80 000 m³
Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000	Autour de 200 000 m³	Autour de 200 000 m³
Déviation route départementale D60/960 (trois variantes)	20 000 – 100 000 m³	30 000 – 100 000 m³

Actuellement, les volumes de déblais des quatre opérations cumulées sont évalués à environ 500 000 m³. L'estimation des volumes de remblais est quasiment équivalente. Les volumes respectifs de déblais et de remblais seront précisés par leur maître d'ouvrage dans les versions ultérieures de l'étude d'impact.

De façon générale, les maîtres d'ouvrage respectifs des autres opérations ont pour objectif la réutilisation des déblais en remblais sur leur chantier ou éventuellement sur une autre opération du projet global Cigéo sous réserve de la qualité des matériaux. En effet, les travaux de ces opérations auront lieu simultanément.

En comparaison des mouvements de terres des zones puits et descenderie, ceux nécessaires aux autres installations et opérations sont de faible ampleur. Leur incidence fine sur le relief sera précisée lors des phases ultérieures d'actualisation de la présente étude d'impact associées aux autorisations nécessaires à chacune de ces opérations.

L'installation du poste de transformation impose l'aplanissement du terrain sur 6 ha. Une variante de la déviation de la route départementale D60/960 nécessite des ouvrages en terre pour traverser la vallée de l'Orge.

Pour les opérations de sécurisation de la ligne 400 kV, d'adduction d'eau et de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000, les modifications de la topographie se limitent à la présence ponctuelle de stock de terre sur site. À l'issue de la phase travaux, aucune modification complémentaire de la topographie et/ou mouvement de terre n'est attendue.

Ces opérations du projet global Cigéo déclenchent potentiellement les mêmes incidences indirectes que le centre de stockage Cigéo : érosion des sols à nu, changement des propriétés des sols décompactés, tassement sous les engins, bruits, poussières, disséminations d'espèces envahissantes, pollutions accidentelles des sols et des eaux.

3.3.2 Mesures de réduction

3.3.2.1 Équilibre du bilan remblais/déblais par réutilisation des déblais sur site

Mesure de réduction – R2.1c : équilibre du bilan remblais/déblais par réutilisation des déblais sur site			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Topographie	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, LIS, ITE)	APR, CI

Les choix de conception effectués par l'Andra ont abouti à l'équilibre du bilan remblais/déblais afin de limiter les excédents ou déficits de matériaux à l'issue de la phase de construction initiale du centre de stockage. Les réflexions ayant permis d'aboutir à cet équilibre déblais/remblais s'appuient sur :

- la prise en compte de la topographie naturelle pour la composition spatiale du site ;
- une organisation de chantier basée sur la gestion des matériaux extraits sur site et leur réemploi en fonction de leurs caractéristiques, par exemple :
  - ✓ une phase de décapage de la terre végétale qui est systématiquement stockée et préservée sur site en vue de son utilisation en fin de phase ou au tout début de la suivante pour les aménagements paysagers ;
  - ✓ les déblais présentant des caractéristiques adéquates sont réutilisés en remblais. Par exemple, le merlon de la zone descenderie réutilise les matériaux générés par le creusement du bâtiment nucléaire.

Ainsi, l'ensemble des terres et matériaux déblayés sera utilisé en tant que remblais *in situ* à l'issue de la phase de construction initiale.

Modalité de suivi

Un suivi régulier de l'équilibre remblais/déblais est réalisé de la conception jusqu'à la fin des terrassements, tout comme la vérification du respect des zones de stockage par rapport au plan des stockages. Les paramètres suivants sont mesurés : volume ou masse des matériaux déblayés (hors verses), avec ou sans foisonnement, dont la terre végétale décapée.

3.3.2.2 Aménagements paysagers dès la fin des aménagements préalables

Mesure de réduction – R2.1z : aménagements paysagers dès la fin des APR			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Topographie **Paysage**	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, LIS, ITE)	APR, CI

Les premiers aménagements paysagers sont mis en place dès la fin des aménagements préalables (cf. Chapitre 14.1 du présent volume). Cette phase d'aménagement des espaces verts du site et des voiries est conçue pour rétablir au plus vite les principales fonctions des sols : infiltration des eaux pluviales et leur gestion alternative, reconquête de la biodiversité, intégration paysagère. Les pentes des nouveaux reliefs sont étudiées de manière à assurer la stabilité de ces aménagements.

Modalité de suivi

Un suivi régulier de la mise en œuvre des aménagements paysagers est réalisé dès la conception.

3.3.2.3 Intégration des verses dans le relief et le paysage

Mesure de réduction – R2.1z : intégration des verses dans le relief et le paysage			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Topographie	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB (ZP)	CI, F

La zone de verses s'adosse sur le versant pentu de l'Ormançon en arrière du point culminant du bois Lejuc (cf. Chapitre 3.2.4.2 du volume II de la présente étude d'impact). Ainsi, elle ne vient pas créer une nouvelle colline mais renforcer un relief existant (cf. Chapitre 14.1 du présent volume).

Par ailleurs, un masque boisé est planté en lisière de la zone puits, dissimulant les verses. De plus, une couverture végétale réutilisant les terres est installée au fur et à mesure, afin de protéger l'argile excavée des intempéries, de participer à l'intégration paysagère des verses et de limiter les impacts liés à l'envol de poussières sur l'air, la qualité des eaux et la biodiversité.

Modalité de suivi

Un suivi régulier de la mise en œuvre des aménagements paysagers est réalisé dès la conception.

3.3.2.4 Valorisation des verses et déploiement progressif de la surface de stockage

Mesure de réduction : E2.1z – valorisation des verses et déploiement progressif de la surface de stockage			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Topographie	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, LIS, ITE)	CI, F

L'argilite du Callovo-Oxfordien, dans laquelle seront implantés les ouvrages de stockage, sera excavée progressivement lors des travaux de creusement, puis remontée à la surface et gérée sur l'aire de gestion des verses située au nord de la zone puits. Si initialement, il était prévu de stocker l'ensemble des matériaux argileux excavés issus du Callovo-Oxfordien, l'Andra a lancé un ensemble d'études visant à valoriser hors du centre de stockage Cigéo une partie de ces matériaux, afin de réduire l'incidence du projet sur le bois Lejuc. L'objectif visé par l'Andra est d'en évacuer le maximum vers l'extérieur pour limiter au strict minimum la superficie de la zone de dépôt. Différentes opportunités de valorisation des verses (cf. Chapitre 2.4.1.3.4 du volume II de la présente étude d'impact) sont en cours d'étude :

- leur utilisation pour combler les carrières ;
- leur utilisation en tant que matériau de base dans la fabrication des ciments. Des résultats prometteurs ont déjà été obtenus en laboratoire, aussi l'Andra a lancé des essais en partenariat avec des cimenteries industrielles.

D'autres pistes prospectives sont également étudiées comme leur valorisation dans le cadre de travaux routiers ainsi que leur utilisation pour la fabrication de briques et de céramiques.

À ce stade, l'emprise envisagée pour l'aire de gestion des verses correspond principalement à :

- l'emprise permettant le dépôt sous forme de verses des déblais du Callovo-Oxfordien mis en réserve pour leur réutilisation lors de la fermeture de l'installation souterraine (environ 40 % du volume total extrait) ; ces matériaux sont également dénommés « verses vives » ;
- l'entreposage des terres végétales réutilisées progressivement pour le couvert végétal des verses ;
- la gestion des flux de verses mortes qui seront évacuées hors du site en cas de filière de valorisation.

Une fois les verses vives réutilisées pour refermer l'installation (après 100 ans à 150 ans de fonctionnement en fonction des décisions prises par les générations futures), les plateformes font l'objet de travaux écologiques pour reconstituer un milieu naturel s'intégrant dans l'environnement.

Quant aux verses « mortes », l'Andra a lancé un ensemble d'études visant à les valoriser vers l'extérieur du centre de stockage Cigéo, afin de réduire l'emprise de la zone de dépôt. La volonté de l'Andra est de valoriser tout le volume des verses « mortes » (environ 6,5 millions de m^3) hors du centre de stockage Cigéo. Elles pourraient notamment être valorisées comme matériau de base pour la fabrication de ciments ou encore pour combler des carrières (cf. Chapitre 2.4.1.3 du volume II de la présente étude d'impact).

La zone de gestion des verses est décrite aux chapitres 2.4.1.3 et 3.2.4.2 du volume II de la présente étude d'impact. La zone de verses Z1 (d'environ 60 ha) pour les verses vives est nécessaire dès le début de la construction initiale. La zone de verses Z2 (d'environ 48 ha) est utilisée quelques années après pour gérer les déblais issus du creusement de la première extension par tranche de l'installation souterraine du centre de stockage Cigéo.

Dans l'éventualité où les filières de valorisation des verses mortes n'aboutiraient pas, ou si leur pérennité venait à être remise en question pendant le fonctionnement du centre, l'Andra devrait avoir recours à une extension d'environ 39 hectares (Z3) de la zone des verses à l'horizon 2070-2080.

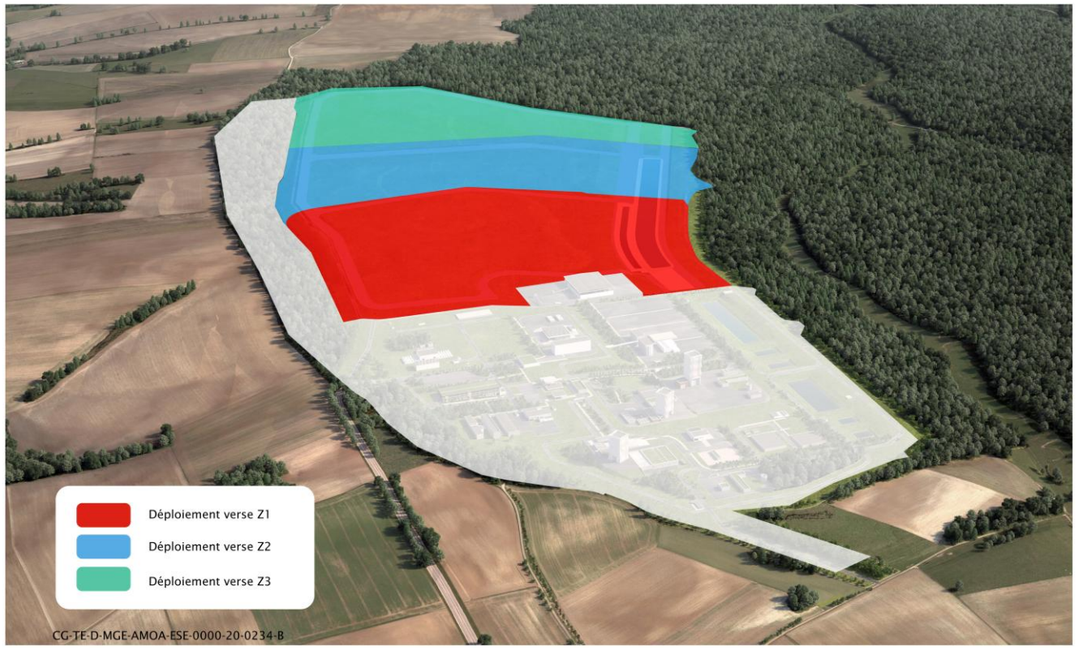


Figure 3-1 Plan de principe de localisation du déploiement des verses en zone puits

La valorisation des verses mortes permet d'éviter la consommation d'espaces boisés sur une surface d'environ 39 ha. Ces espaces boisés se trouvent sur des sols calcaires et limoneux forestiers de bonne qualité et très favorables au développement forestier.

Modalité de suivi

Un suivi régulier de la superficie et des volumes de dépôt et des solutions alternatives de réemploi des verses sera réalisé de la conception jusqu'à la fermeture.

3.3.3 Incidences résiduelles

Les terrassements sur le centre de stockage transforment définitivement le relief dès la phase d'aménagements préalables. Les nouveaux modelés sont conçus pour s'intégrer au paysage. Les effets indirects liés au chantier de terrassement ne s'expriment que pendant la phase d'aménagements préalables.

Les effets sur la topographie sont essentiellement liés au stockage des matériaux argileux issus du Callovo-Oxfordien au nord de la zone puits sur une surface maximale remaniée de 147 ha. La topographie de la zone est mise à profit pour organiser des verses sous forme de pyramide étagée, dans le prolongement du versant pentu de l'Ormançon, en arrière du point culminant du bois Lejuc. Leur intégration dans le relief est ainsi optimisée.

Ainsi, l'incidence du projet global Cigéo sur la topographie après mesures liées aux terrassements est qualifiée de faible.

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle faible sur la topographie.

Aucune mesure compensatoire n'est nécessaire.

3.4 Changement d'occupation des sols

3.4.1 Incidences après mesures d'évitement

Le changement d'occupation du sol intervient dès le démarrage des travaux. Toutefois, la durée de cet effet est variable selon les opérations du projet global Cigéo et une distinction peut être faite entre les éléments de projets pour lesquels le changement d'occupation du sol se limite à la durée des travaux et ceux pour lesquels il est permanent.

3.4.1.1 Changement temporaire d'occupation du sol

Concernant les adductions d'eau potable ainsi que les lignes électriques enterrées, les effets du changement d'occupation des sols sont limités à la phase d'aménagements préalables.

Les liaisons électriques souterraines traversent essentiellement des parcelles agricoles et des chemins d'exploitation. Les réseaux d'eaux dont le tracé sera défini en concertation avec le public sont préférentiellement posés le long des infrastructures existantes.

De même, le renforcement de certains pylônes de la ligne 400 kV impliquera d'empiéter de quelques mètres carrés sur les terres agricoles où ils sont implantés.

Des installations temporaires sur les terres agricoles peuvent être nécessaires aux travaux le long de la liaison intersites, de l'ITE, de la ligne ferroviaire 027000, la déviation de la route départementale D60/960 et l'adduction en eau et pour les opérations de caractérisation et de surveillance environnementale réalisées pour les besoins de ces travaux ainsi que pour le centre de stockage Cigéo.

3.4.1.2 Changement permanent d'occupation du sol

Pour le centre de stockage, le poste de transformation électrique avec sa route d'accès et les deux pylônes qui relient le poste à la ligne 400 kV ainsi que la déviation de la route départementale D60/960, le changement d'occupation du sol est permanent. Initié par les travaux de défrichement ou de terrassement, il se prolonge pendant toute la phase de fonctionnement du projet. La remise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et les réutilisations de l'ancienne plateforme ferroviaire pour l'ITE nécessitent des emprises supplémentaires de part et d'autre des emprises actuelles pour l'aménagement de rétablissements ou de rabattements routiers et autres aménagements nécessaires au fonctionnement de ces infrastructures (aménagements hydrauliques par exemple), notamment pour maintenir la continuité des chemins agricoles.

L'artificialisation induite par les premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale, hors ZIP, représente donc 1,1 ha et est comprise dans l'enveloppe des 2 ha (cf. Tableau 3 4) consacrés aux opérations de caractérisation et de surveillance du projet global Cigéo.

Malgré l'optimisation de la zone d'intervention potentielle, le projet global Cigéo s'étend sur des surfaces importantes.

La figure suivante montre l'occupation du sol dans les zones d'implantation potentielle du projet global Cigéo.

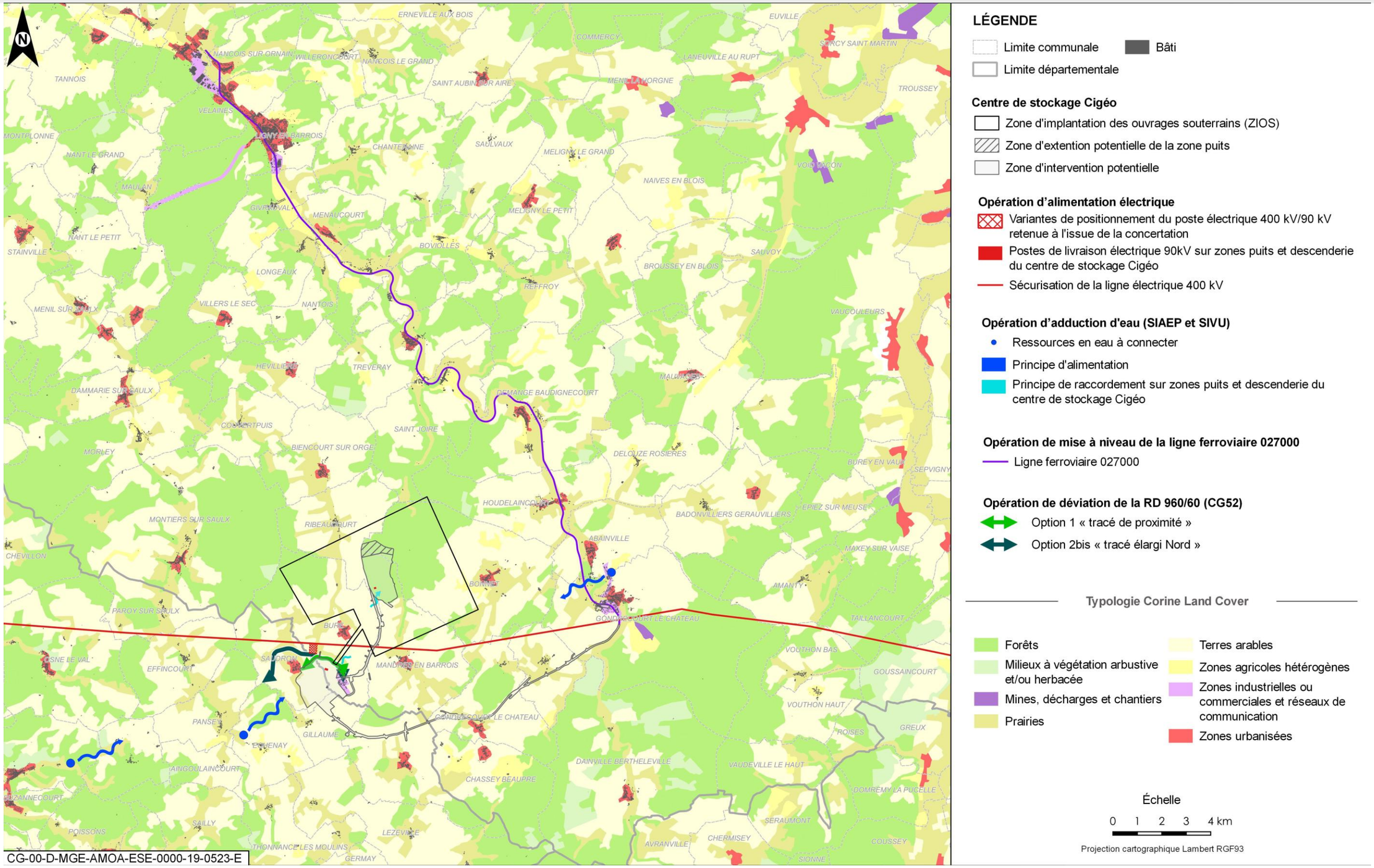


Figure 3-2 Occupation du sol au sein du projet global Cigéo

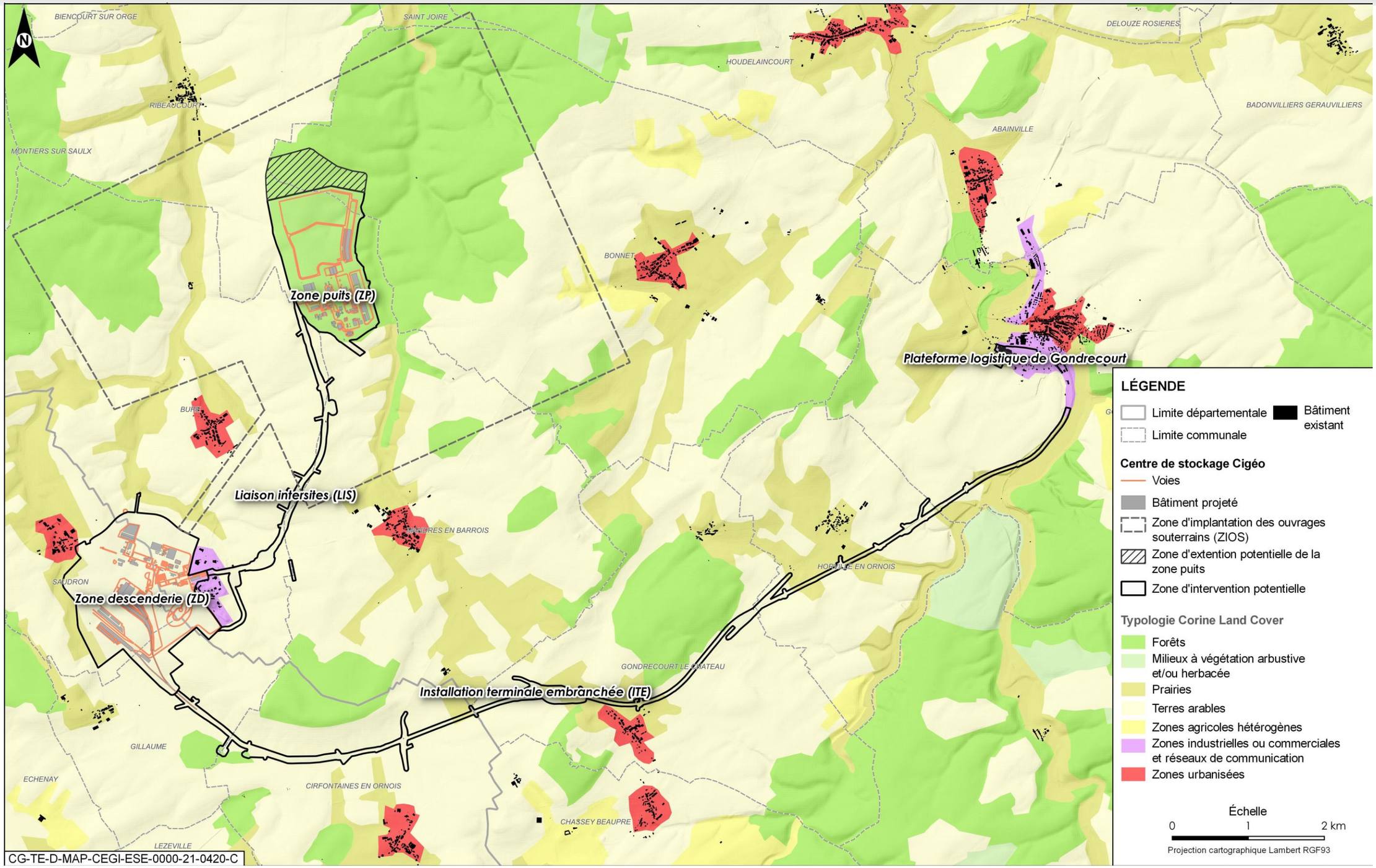


Figure 3-3 Occupation du sol au sein du projet global Cigéo – zoom sur le centre de stockage

Le tableau suivant synthétise l'occupation du sol actuelle au droit de la zone d'intervention potentielle du projet global Cigéo, d'après Corine Land Cover (19).

Tableau 3-3 Grandes classes d'occupation du sol actuelle dans la zone d'intervention potentielle du projet global Cigéo

Installation	Surface agricole	Milieux naturels		Surfaces des milieux artificiels	Total Zone d'intervention potentielle
		Surface boisée et bosquets	Surface des milieux ouverts (rudérale, fourrés, pelouse…)		
Centre de stockage Cigéo					
Zone descenderie (dont INB)	275,6 ha (102,4 ha)	3,4 ha (0,7 ha)	1,1 ha (0,2 ha)	15,7 ha (4,6 ha)	296 ha (107,9 ha)
Zone puits (dont INB)	2,0 ha (0,0 ha)	250,5 ha (95,6 ha)	0,7 ha (0,0 ha)	4,2 ha (1,7 ha)	258 ha (97,3 ha)
Installations terminale embranchée	66,8 ha	4,3 ha	29,8 ha	20,0 ha	121 ha
Liaison intersites	43,3 ha	0 ha	1,0 ha	2,0 ha	46 ha
Sous total centre de stockage (dont INB)	**388* ha (102,4 ha)**	**258 ha (96,3 ha)**	**33 ha (0,2 ha)**	**42 ha (6,3 ha)**	**721 ha (205,2 ha)**
Opérations des autres maîtres d'ouvrage associés (surfaces maximales et répartitions indicatives)					
Dévoiement route départementale D60/960	9,0 ha	-	0,5 ha	0,5 ha	10 ha
Poste de transformation électrique	6,0 ha	-	-	-	6 ha
Ligne électrique 400 kV	Quelques m²	-	-	-	-
Ligne ferroviaire 027000	9,1 ha	2,9 ha	4,5 ha	26,2 ha	43 ha
Adduction d'eau	1,0 ha	-	-	-	1 ha
Caractérisation environnementale	2,0 ha	-	-	-	2 ha
Sous-total autres opérations	**27 ha**	**3 ha**	**5 ha**	**27 ha**	**62 ha**
TOTAL	**415 ha**	**264 ha**	**38 ha**	**69 ha**	**783 ha**

** La surface agricole considérée dans ce tableau correspond à une surface maximale incluant 68 ha de marge d'incertitude. Cette marge correspond à une surface potentiellement nécessaire pour les aménagements liés à ces ouvrages ainsi qu'aux emprises pour les chantiers (environ 3 ha) qui sont restitués à l'issue des travaux.*

INB : installation nucléaire de base

Pour le centre de stockage Cigéo, les zones d'interventions potentielles (incluant la Z3) représentent 721 ha. Pour les opérations des autres maîtres d'ouvrage, les emprises potentielles cumulées concernent environ 62 hectares.

Le renforcement de certains pylônes de la ligne 400 kV empiète de quelques mètres carrés sur les terres agricoles où ils sont implantés.

Ainsi le projet global Cigéo s'étend sur des surfaces importantes et modifie l'occupation du sol de manière permanente. Cependant, sur les 783 ha totaux d'occupation du sol de la zone d'intervention potentielle indiqués dans le volume III, chapitre 3.3 de la présente étude d'impact et dans le tableau 3-3, tous les sols ne sont pas artificialisés. L'occupation du sol de certaines surfaces agricoles et naturelles est conservée ou restituée à l'issue de la phase de fonctionnement. Le tableau 3-4 précise ainsi, par installation du projet global Cigéo, les modifications d'occupation du sol, à l'issue de la phase de fonctionnement.

D'autre part, les changements d'occupation du sol engendrés par le projet global Cigéo entraînent les impacts indirects suivants :

- la perte de surface agricole a des conséquences sur l'économie agricole traitée au chapitre 8.1 et sur la biodiversité traitée au chapitre 6 du présent volume ;
- la perte de surface boisée a des conséquences sur l'économie sylvicole traitée au chapitre 8.2, et sur la biodiversité traitée au chapitre 6 du présent volume ;
- l'imperméabilisation d'une partie des surfaces artificialisées ce qui modifie la circulation des eaux sur le sol et leur infiltration dans le sous-sol. Cet aspect est traité au chapitre 5 du présent volume ;
- plus généralement, une modification ou une perte des services rendus par les écosystèmes naturels. Cet aspect est traité dans le chapitre 16 du présent volume.

Concernant les milieux naturels :

- 24 ha de surface agricole de la zone descenderie servent à la mise en œuvre des mesures de compensation des milieux ouverts (cf. Chapitre 6.6.2 du volume III de la présente étude d'impact) ;
- pour les 51 ha de surface boisée et de bosquets et les 55 ha de lisières/milieux naturels, il s'agit soit de surfaces conservées, soit de surfaces recréées sur sol remanié.

Les sols impactés au droit des zones puits et descenderie, de la LIS et sur la partie ouest de l'ITE sont majoritairement des sols calcaires ou calciques, des plateaux et des versants calcaires agricoles. Les sols impactés par la partie est de l'ITE sont majoritairement des sols calcaires ou calciques des plateaux à relief ondulé sur marne et calcaire. Si les sols calcaires et limoneux forestiers occupés par les espaces boisés sont de bonnes qualités et très favorables au développement forestier, les sols calcaires occupés par des parcelles agricoles sont en très grande majorité (80 %) des sols peu profonds avec des teneurs faibles en matières organiques ce qui en fait des terres à faible rendement agricole sans potentiel particulier.

3.4.2 Mesures de réduction

3.4.2.1 Approvisionnement en énergie par des lignes électriques enterrées

Mesure de réduction – R2.2z : approvisionnement en énergie par des lignes électriques enterrées			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Occupation du sol	RTE	Alimentation électrique	APR, CI, F

À partir du poste de transformation 400/90 kV qui sera créé au pied de la ligne électrique 400 kV Houdreville-Méry, le choix de RTE s'est porté sur la mise en place de lignes électriques enterrées entre le poste de transformation et les zones puits et descenderie. Si les liaisons enterrées évitent l'impact paysager des lignes aériennes, elles évitent également l'incidence sur l'occupation du sol en raison de l'absence de pylônes et permettent le maintien des pratiques agricoles de l'exploitation au-dessus de lignes enterrées.

Modalité de suivi

Il sera vérifié, à toutes les étapes clés de la conception, que les modalités d'approvisionnement en énergie par des lignes électriques enterrées seront respectées.

3.4.2.2 Optimisation de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage

Mesure de réduction – R1.2a : optimisation de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Occupation du sol	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, LIS, ITE)	APR

La principale mesure de réduction est de concevoir la zone d'intervention potentielle le plus petit possible. La disposition du centre de stockage Cigéo est d'abord dictée par les contraintes de sûreté. Comme expliqué au chapitre 2.4.1 du volume II de la présente étude d'impact, la position des puits et de la descenderie est déterminée suivant la position des ouvrages souterrains. Les différentes unités fonctionnelles des installations de surface sont disposées autour de ces liaisons surface-fond suivant de multiples règles garantissant le fonctionnement en toute sécurité de l'installation. Dans le respect de ces contraintes de sécurité et de fonctionnement plusieurs optimisations ont été mises en place au sein du centre de stockage :

- création d'un parking silo sur plusieurs étages en zone puits à la place d'un parking extérieur ;
- mutualisation de certaines installations entre zone puits et zone descenderie. Ainsi, l'accueil du public, la délivrance des autorisations d'accès et l'essentiel des services administratifs de l'ensemble du centre de stockage sont regroupés dans la zone descenderie. Ce choix a permis de limiter l'emprise de la zone puits ;
- création d'une liaison intersites groupant côte à côte les voies pour les véhicules légers, les poids lourds et le convoyeur ;
- localisation des installations de chantiers des zones puits et descenderie au sein des zones d'intervention potentielle à la phase de fonctionnement ;
- utilisation du tracé actuel de la route départementale D960 comme axe principal de desserte à l'intérieur de la zone descenderie.

Modalité de suivi

Un suivi de la répartition de l'occupation des sols et notamment des surfaces artificialisées est réalisé de la conception jusqu'à la fermeture.

3.4.2.3 Création d'espaces verts au sein des zones artificialisées

Mesure de réduction – R2.2k : création d'espaces verts au sein des zones artificialisées			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Occupation du sol	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD)	CI, F

Comme indiqué dans la définition proposée au chapitre 3.3 du volume III de la présente étude d'impact, les zones artificialisées intègrent les pelouses d'agréments. Ainsi, une cinquantaine d'hectares d'espaces naturels est recréée au sein du centre de stockage Cigéo dont une trentaine d'hectares de pelouse.

Modalité de suivi

Un suivi régulier des superficies artificialisées et végétalisées est réalisé de la conception jusqu'à la fermeture.

3.4.2.4 Végétalisation progressive des verses

Mesure de réduction – R2.2z : végétalisation progressive des verses			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Occupation du sol	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB (ZP)	CI, F

La zone de dépôt de verses est un milieu artificialisé pendant le fonctionnement du centre de stockage. Une végétalisation progressive est proposée pour améliorer les fonctionnalités proposées par le site et ainsi réduire les effets de l'artificialisation.

Les verses déposées sont progressivement recouvertes de terre végétale de type herbacée. Ainsi, la végétalisation de la Z1 de verses aura débuté au moment où interviendra le défrichement de la Z2.

Ce choix présente plusieurs avantages : éviter les envols de poussières, protéger les déblais du lessivage, créer progressivement une zone naturelle de milieux ouverts favorables à l'installation de la faune et de la flore et, enfin, participer à l'intégration paysagère du projet.

Une fois les verses vives réutilisées pour refermer l'installation (après 100 ans à 150 ans de fonctionnement en fonction des décisions prises par les générations futures), les zones de dépôt des verses peuvent également faire l'objet de travaux écologiques de reboisement pour reconstituer un milieu naturel s'intégrant dans l'environnement.

Modalité de suivi

Un suivi régulier de la superficie des verses à nu et des surfaces végétalisées est réalisé du début des travaux jusqu'à la fermeture.

3.4.2.5 Remise en état des zones d'intervention potentielle temporaires

Mesure de réduction – R2.1r : remise en état des zones d'intervention potentielles temporaires			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Occupation du sol **Eaux** **Infrastructures de transport**	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, LIS, ITE)	APR
	CD52	Déviation de la route départementale D60/960	
	RTE	Alimentation électrique	
	SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000	
	SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau	

Les zones d'intervention potentielle temporaires font l'objet d'une remise en état de qualité avec démantèlement des bases vie et des aménagements annexes, une évacuation des déchets et des travaux de type agricole sur le sol (décompactage, griffage) avant un aménagement. Les caractéristiques de ce dernier varient selon l'usage de la zone restituée au milieu : parcelle agricole, plateforme technique…

Pour les travaux liés aux adductions d'eau, aux lignes électriques enterrées, les tranchées qui sont creusées pour la pose des réseaux sont rebouchées progressivement au fur et à mesure de l'avancement des travaux. De plus, les matériaux extraits au moment du creusement des tranchées sont stockés temporairement à proximité immédiate et ils sont triés de manière à être réutilisés, voire à pouvoir reconstituer les horizons pédologiques initiaux.

Modalité de suivi

Il sera inscrit dans le cahier des charges des entreprises de travaux, la remise en état des zones d'intervention potentielles temporaires. Le suivi de l'avancement sera mensuel et la reprise de la végétation sera notée à N+1 et N+3.

3.4.2.6 Réduction des emprises de travaux le long de la ligne électrique 400 kV

Mesure de réduction – R1.2a : réduction des emprises de travaux le long de la ligne électrique 400 kV			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Occupation du sol	RTE	Alimentation électrique	APR

À défaut de pouvoir emprunter le réseau de voiries et de chemins existants, ou le layon existant de la ligne 400 kV, un cheminement de moindre impact et d'une longueur inférieure à 500 mètres sera défini.

Les emprises de chantier (plateformes, zones de travaux aux pieds des supports) seront limitées au strict nécessaire. Cette mesure de réduction s'applique au milieu naturel pour réduire les incidences sur les habitats d'espèces.

Modalité de suivi

Il sera inscrit dans le cahier des charges des entreprises de travaux, un suivi strict des emprises de travaux le long de la ligne électrique 400 kV. Ces emprises seront matérialisées par un balisage.

3.4.3 Incidences résiduelles

3.4.3.1 Incidences résiduelles temporaires

Les travaux liés aux adductions d'eau et aux lignes électriques enterrées génèrent des impacts faibles et temporaires sur l'occupation des sols. En effet, les tranchées qui sont creusées pour la pose des réseaux sont rebouchées progressivement au fur et à mesure de l'avancement des travaux. De plus, les matériaux extraits au moment du creusement des tranchées sont stockés temporairement à proximité immédiate et ils sont triés de manière à être réutilisés, voire à pouvoir reconstituer les horizons pédologiques initiaux.

Le long de la ligne électrique 400 kV, l'incidence sur l'occupation des sols est très faible. Le renforcement de certains pylônes empiète de quelques mètres carrés sur les terres agricoles où ils sont implantés. Aucune mesure compensatoire n'est donc nécessaire.

Le long de la ligne ferroviaire 027000 l'incidence sur l'occupation du sol est faible à très faible selon l'ampleur des rétablissements des passages à niveau qui sera défini après consultation du public. Des mesures compensatoires seront envisagées si la solution choisie relative aux passages à niveau impacte des terres agricoles.

Le projet global Cigéo a une incidence temporaire très faible en phase d'aménagements préalables sur l'occupation du sol liée aux opérations d'adduction d'eau, de sécurisation de la ligne électrique 400 kV et de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000

3.4.3.2 Incidences résiduelles permanentes

Le tableau 3-4 recense, par installation du projet global Cigéo, les surfaces agricoles ou naturelles dont l'occupation du sol est conservée ou recréée après terrassement à l'issue de la phase de fonctionnement en tenant compte de la Z3, ainsi que les surfaces de milieux artificialisés.

Il en ressort que le centre de stockage Cigéo induit les modifications permanentes suivantes :

- l'artificialisation d'environ 526 ha comprenant 116 hectares de surface imperméabilisée ;
- le déboisement d'environ 189 ha à 228 ha en tenant compte du déboisement de la troisième zone de stockage des verses (Z3). Ces valeurs correspondent à des surfaces maximales estimées par rapport au milieu naturel. Les déboisements concernent principalement la zone puits (217 ha) et, dans une moindre mesure, la zone descenderie (3 ha) et une partie de l'ITE (2 ha).

  En effet, sur la zone puits, les déboisements sont échelonnés dans le temps. 132 ha sont déboisés pour l'installation des fonctionnalités de la zone puits et d'une première zone de dépôt de verses d'une surface de 60 ha (Z1) dès la phase d'aménagements préalables. Quelques années plus tard, 48 ha supplémentaires seront déboisés et remaniés pour l'extension de la zone de dépôt des verses (Z2). Enfin, une troisième zone d'une superficie de 39 ha pourrait également être déboisée à l'horizon 2070-2080, si les filières de valorisation des verses n'aboutissaient pas ou si leur pérennité venait à être remise en question pendant le fonctionnement du centre. Comme indiqué au chapitre 3.2.4.2 du volume II de la présente étude d'impact, cette opération nécessiterait, sous réserve du contexte réglementaire à cette échéance, le dépôt d'une demande d'enquête publique préalable à la déclaration d'utilité publique modificative. Néanmoins, l'Andra tient dès maintenant à analyser les impacts potentiels liés à cette troisième zone de dépôt des verses dont l'emprise n'est pas intégrée dans les parcelles concernées par la déclaration d'utilité publique du centre de stockage Cigéo ;
- la suppression d'environ 320 ha à 388 ha de champs.

La conception du centre de stockage permet potentiellement de conserver 65 ha de surface agricole aux abords de l'ITE et de la LIS.

En ajoutant les emprises potentielles permanentes nécessaires à l'alimentation électrique, l'adduction d'eau, la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et la déviation de la route départementale D60/960, ce sont :

- environ 587 ha qui sont artificialisés pour le projet global Cigéo, dont 2 ha pour la caractérisation environnementale de DR0 et environ 158 ha de surface imperméabilisée ;
- environ 347 ha à 415 ha de surface agricole qui sont supprimés ;
- environ 192 ha à 231 ha de surface déboisée.

Par ailleurs, le projet global Cigéo ne modifie l'occupation du sol que sur de très faibles surfaces au sein des zones urbaines existantes. Seule la ligne ferroviaire 027000 passe en bordure de centres urbains. Les travaux de mise à niveau, en plus de la réhabilitation de la plateforme, nécessitent la rénovation d'ouvrages d'arts, la reprise du système de gestion des eaux et le réaménagement éventuel de passages à niveau. Le rétablissement des voiries suite à la fermeture de passages à niveau peut entraîner la construction de nouvelles portions de routes et d'ouvrages d'art pour traverser la voie ferrée en toute sécurité. Le programme de réaménagement des passages à niveau sera soumis à concertation. La solution retenue sera intégrée à la version ultérieure d'étude d'impact associée aux autorisations nécessaires à l'opération de mise à niveau de la ligne 027000.

C'est sur le centre de stockage et ses abords que l'incidence est la plus significative : les zones puits et descenderie, la liaison intersites, le raccordement de l'ITE à l'ancienne plateforme existante, le poste de transformation 400 kV et la déviation de la route départementale D60/960 s'insèrent très largement sur des terres agricoles et des milieux naturels.

Des mesures de compensation sont donc à mettre en place.

Tableau 3-4 Occupation du sol de la zone d'intervention potentielle du projet global Cigéo – phase fonctionnement

Installation	Surface agricole potentiellement conservée	Surface agricole consacrée aux mesures environnementales (compensation des milieux ouverts)	Bois et bosquets conservés ou reconstitués	Milieux naturels et lisières conservés ou reconstitués	Milieux artificialisés	TOTAL
Centre de stockage Cigéo						
Zone descenderie	0 ha	24 ha	14,0 ha	27,4 ha	230,6 ha	296 ha
Zone puits	0 ha	0 ha	34,0 ha	14,0 ha	210,0 ha	258 ha
Installation terminale embranchée	44,2 ha	0 ha	3,0 ha	14,0 ha	60,0 ha	121 ha
Liaison intersites	21,2 ha	0 ha	0 ha	0 ha	25,0 ha	46 ha
SOUS TOTAL	**65 ha**	**24 ha**	**51 ha**	**55 ha**	**526 ha**	**721 ha**
Aménagements opérations des maîtres d'ouvrage associés (surfaces maximales)						
Dévoiement route départementale D60/960	0 ha	0,5 ha	0 ha	0 ha	9,5 ha	10 ha
Poste de transformation électrique	0 ha	0 ha	0 ha	0 ha	6 ha	6 ha
Ligne électrique 400 kV	-	-	-	-	-	-
Ligne ferroviaire 027000	0 ha	0 ha	0 ha	0 ha	42,6 ha	43 ha
Adduction d'eau	0 ha	0 ha	0 ha	0 ha	1 ha	1 ha
Caractérisation environnementale	0 ha	0 ha	0 ha	0 ha	2 ha	2 ha
SOUS-TOTAL	**0 ha**	**0,5 ha**	**0 ha**	**0 ha**	**61,1 ha**	**62 ha**
TOTAL	**65 ha**	**24,5 ha**	**51 ha**	**55 ha**	**587 ha**	**783 ha**

3.4.4 Mesures compensatoires

Des mesures de compensation écologiques, agricoles et sylvicoles compensent la perte d'espaces naturels et la perte de surfaces d'exploitation agricoles et sylvicoles.

Les mesures de compensation écologique sont détaillées au chapitre 6.6 du présent volume.

La compensation écologique concerne des milieux boisés, prairiaux et cultivés. Quel que soit l'habitat concerné, ces mesures visent à diversifier les milieux de façon à augmenter la biodiversité par la création de zones d'alimentation, de repos, de nidification, d'hibernation ainsi qu'à restaurer l'équilibre écosystémique.

Les mesures de compensation agricole sont détaillées au chapitre 8.1.5 du présent volume :

- création d'un fonds de compensation pour le développement de projets ;
- compensation d'usage.

La mesure de compensation sylvicole « Mise en œuvre de la compensation forestière et en particulier de projets de reboisement » est détaillée au chapitre 8.2.5 du présent volume. Le reboisement prévu représente le double des surfaces défrichées.

Ces mesures contribuent financièrement au développement des filières agricoles et sylvicoles.

Le projet global Cigéo modifie l'occupation de près de 783 ha de sols parmi lesquels environ 587 ha de terrains sont artificialisés, dont 158 ha imperméabilisés. Cependant, ces changements ne remettent pas en cause l'équilibre d'occupation des sols de l'aire d'étude éloignée ; les surfaces agricoles et les surfaces boisées restent largement majoritaires. Les mesures de recréation d'espaces végétalisés concourent à maintenir le fonctionnement hydraulique et hydrogéologique de la zone et à consolider les filières agricoles et sylvicoles tout en répondant à l'obligation de zéro perte nette de biodiversité.

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle permanente modérée sur l'occupation du sol.

3.5 Pollution des sols

3.5.1 Incidences après mesures d'évitement

Les impacts potentiels de l'environnement en situation accidentelle pouvant notamment engendrer des pollutions des sols sont étudiés au chapitre 11 « Risques » du présent volume.

3.5.1.1 Rejets incidentels

Outre les situations accidentelles décrites au chapitre 11 « Risques » du présent volume, des pollutions incidentelles, donc peu étendues, sont susceptibles de survenir en cas d'anomalie sur des véhicules ou matériels (fuites d'hydrocarbures, d'huiles, de circuits hydrauliques…), d'une mauvaise manœuvre (renversement d'un engin) ou encore d'une mauvaise gestion des déchets générés par le chantier (laitance de béton…) (cf. Chapitre 19.4.1 du présent volume de l'étude d'impact).

Dans la mesure où ces engins et poids lourds circuleront sur des zones imperméabilisées, il est peu probable que les pollutions atteignent le sol et la présence du personnel permet de les circonscrire rapidement.

Des produits toxiques sont présents dans certaines installations comme les transformateurs électriques. Ils pourraient se répandre sur les sols puis s'infiltrer vers les eaux souterraines en cas d'accident.

3.5.1.2 Dépôt de poussières

Les concentrations dans l'air des émissions atmosphériques chimiques sont présentées au chapitre 2.4.1 du présent volume.

En France, il n'existe pas de valeurs réglementaires concernant les dépôts de poussières. Néanmoins ATMO Occitanie, s'appuyant sur son expérience, a établi des valeurs seuils de retombées de poussières pour qualifier l'empoussièrement (20). Ces seuils sont présentés dans le tableau 3-5 ci-après qui restitue les résultats de la modélisation des dépôts de poussières.

Tableau 3-5 Dépôts de poussières moyens annuels totaux modélisés et comparées aux valeurs de référence (20)

	Dépôts totaux maximaux annuels sur l'aire d'étude rapprochée (mg/m²/j)	Valeurs moyenne annuelle Échelle ATMO Occitanie mg/m²/j
Dépôts totaux en phase de construction initiale	PM10 : 17,7 PM2,5 : 6,1	150 mg/m2/j FAIBLE
		150 mg/m2/j à 250 mg/m2/j MOYEN
		>250 mg/m2/j FORT
Dépôts totaux en phase de fonctionnement	PM10 : 11,5 PM2,5 : 2,3	150 mg/m2/j FAIBLE
		150 mg/m2/j à 250 mg/m2/j MOYEN
		>250 mg/m2/j FORT

Les dépôts de poussières maximaux n'excèdent pas 17,7 mg/m²/j en phase de construction initiale et 11,5 mg/m²/j en phase de fonctionnement.

Les valeurs maximales de dépôt de poussières modélisées sur l'aire d'étude rapprochée en phases de construction initiale et de fonctionnement sont inférieures à 150 mg/m² par jour, ce qui équivaut à des retombées de poussières faibles.

3.5.1.3 Dépôt au sol des radionucléides émis dans l'air en phase de fonctionnement par l'INB Cigéo

Les émissions d'éléments radioactifs de l'INB Cigéo sont très faibles (cf. Chapitre 2.4.2.3 du présent volume). Ces éléments radioactifs qui sont rejetés dans l'air par les émissaires (cheminées) de l'INB Cigéo et passent par des filtres limitant la quantité de ces substances dans l'environnement à la sortie des émissaires, peuvent, après leur dispersion dans l'air, se déposer au sol, en quantités encore plus faibles (certains éléments ne retombant pas au sol).

Ces dépôts, comme les concentrations dans l'air, sont évalués avec la plateforme de calcul CERES (Code d'évaluations rapides environnementales et sanitaires) version 6.2.5, qui permet de modéliser la dispersion atmosphérique.

La modélisation de la dispersion du tritium conduit à une estimation de l'ordre du $Bq.kg^{-1}$ en tritium dans les sols (dépôts maximaux, sous forme de vapeur d'eau tritiée, de quelques centaines de $Bq.m^{-2}$ par an pour une masse volumique du sol de 1 300 $kg.m^{-3}$ et une profondeur de sol de 20 cm), ce qui correspond à une concentration non détectable. Les dépôts des autres éléments radioactifs sont encore plus faibles, et encore moins détectables (cf. Tableau 3-6)

Tableau 3-6 Dépôts annuels potentiels au sol des éléments radioactifs émis par le centre de stockage Cigéo en phase de fonctionnement au niveau du village de Bure

	Dépôts au sol – Bq/m²/an
Tritium	Quelques centaines (si le tritium est considéré uniquement sous forme de vapeur d'eau tritiée, sinon pas de dépôt sous forme d'hydrogène tritié)
^{14}C	Sans objet (pas de dépôt pour les gaz)
^{85}Kr	Sans objet (pas de dépôt pour les gaz)
Émetteurs beta	<0,001
Émetteurs alpha	<0,0001

Les dépôts au sol sont essentiellement dus aux aérosols (particules en suspension dans l'air). Ces aérosols sont filtrés à 99,9 % grâce aux filtres très haute efficacité (THE) mis en place au niveau des cheminées.

Le dépôt total au sol des substances radioactives, sortant des émissaires et après filtration, correspond à la somme du dépôt sec et du dépôt humide. Le dépôt sec dépend de la forme chimique du radionucléide et de sa masse volumique, il est défini par une vitesse de dépôt sec en m/s. Le dépôt humide correspond au lessivage du panache par la pluie. L'activité massique dans le sol (exprimée en Bq/kg) se calcule à partir du dépôt total au sol, en considérant une épaisseur de sol et une masse volumique. Le tableau 3-7 présente les résultats en activité massique dans le sol pour les trois instants de calcul : 1 an, 50 ans et jusqu'à 150 ans pour couvrir la durée d'exploitation du centre de stockage Cigéo.

Tableau 3-7 Activité massique du sol à Bure (en Bq/kg)

Radionucléide	1 an	50 ans	150 ans
Carbone 14 (sous forme de CO_2)	0	0	0
Tritium 3H (sous forme de HTO)	1	1	1
Krypton ^{85}Kr (gaz rare)	0	0	0
Émetteurs alpha assimilés à du Plutonium 239 (^{239}Pu)	$9{,}52 \times 10^{-07}$	$4{,}72 \times 10^{-05}$	$1{,}39 \times 10^{-04}$
Émetteurs beta/gamma assimilés à du Strontium 90 (^{90}Sr)	$4{,}19 \times 10^{-06}$	$4{,}89 \times 10^{-06}$	$4{,}89 \times 10^{-06}$

Le krypton 85 étant un gaz rare inerte, il ne se dépose pas, ni ne s'accumule dans les sols ou dans la biomasse, l'activité massique dans le sol est donc nulle. Les émetteurs alpha et beta correspondent à une activité surfacique au niveau des colis, considérée enveloppe. En réalité, les activités seront bien inférieures. Comme également indiquée dans le chapitre 3.5.1.3 du présent volume, la modélisation de la dispersion du tritium conduit à une estimation de l'ordre d'un Bq/kg en tritium dans les sols (dépôts maximaux, sous forme de vapeur d'eau tritiée, de quelques centaines de $Bq.m^{-2}$ par an pour une masse volumique du sol de 1 300 $kg.m^{-3}$ et une profondeur de sol de 20 cm), ce qui correspond à une concentration non détectable.

Même après 150 ans d'exploitation, les valeurs ajoutées en radionucléides dans le sol ne seront pas détectables et sont de plusieurs ordres de grandeur inférieures au niveau de bruit de fond actuel des sols français compris entre 0,1 et 1 Bq/kg sec de sols pour la somme des uranium 239 et 240, 10 et 1000 Bq/kg sec en alpha et 0,5 et 10 Bq/kg sec en strontium 90. Les activités liées au bruit de fond en tritium et carbone 14 ne sont pas détectables dans les sols.

En outre, comme précisé au chapitre 19 du présent volume de l'étude d'impact, un plan de surveillance relatif sera mis en œuvre notamment pour le contrôle des émissions atmosphériques et leurs retombées.

3.5.1.4 Absence d'incidence des rayonnements produits par les colis de déchets radioactifs sur les terrains situés en surface

Les déchets HA et MA-VL stockés émettent des rayonnements, principalement bêta/gamma et alpha. Le rayonnement alpha est arrêté très facilement, même par une feuille de papier. Le rayonnement bêta est arrêté rapidement par les solides, par exemple des feuilles d'aluminium. Le rayonnement gamma décroit du fait de la distance parcourue et de la densité du milieu traversé.

Pendant la période d'exploitation, le colis, le conteneur et les ouvrages, ainsi que le Callovo-Oxfordien absorbent les rayonnements émis. À la fin de sa phase de fonctionnement, l'INB Cigéo est conçue pour être fermée afin de protéger durablement l'homme et l'environnement sans nécessiter d'interventions humaines ultérieures. La sûreté est assurée de façon passive, c'est-à-dire que l'homme et l'environnement sont protégés des éléments radioactifs et des substances chimiques toxiques contenus dans les déchets radioactifs, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir. La protection de l'homme et de l'environnement à long terme repose sur la couche du Callovo-Oxfordien, qui joue un rôle central de cette protection, complétée par des dispositifs ouvragés de fermeture tels que, notamment, les scellements, des liaisons surface-fond et de galerie qui s'opposent aux écoulements au sein des ouvrages souterrains (cf. Chapitre 18.2 du présent volume). Le Callovo-Oxfordien et les formations géologiques situées entre le Callovo-Oxfordien et la surface, de par leur densité élevée et leur épaisseur, absorbent les rayonnements émis par les colis de déchets. Ces rayonnements sont ainsi imperceptibles en surface et n'augmentent pas le niveau du rayonnement émis naturellement par le sol.

3.5.2 Mesures de réduction

3.5.2.1 Mise en place de dispositifs de stockage adaptés pour les produits dangereux sur les zones d'intervention potentielles

Mesure de réduction– R2.1d : mise en place de dispositifs de stockage adaptés pour les produits dangereux			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Pollution des sols Sous-sol	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, LIS, ITE)	APR, CI, F
	SNCF	Mise à niveau de la ligne 027000	APR
	CD 52	Déviation de la route départementale D60/960	APR
	RTE	Alimentation électrique	APR
	Syndicats de gestion des eaux d'Échenay et du Haut-Ornain	Adduction d'eau	APR

Les substances dangereuses (carburants, huiles de décoffrage…) sont stockées sur des aires étanches, dédiées et à distance des milieux à enjeux, équipées de capacité de confinement dimensionnées selon les règles de l'art, afin d'éviter la propagation d'éventuelles fuites de produits dangereux. Les règles sur les incompatibilités chimiques de stockage entre produits dangereux sont respectées. Les hydrocarbures sont stockés dans des cuves à doubles parois ou équipées de bacs de rétention étanches dont le volume est au moins égal au volume stocké (100 % de la capacité du plus grand réservoir ou 50 % de la capacité totale des réservoirs associés). Les aires de dépotage et d'utilisation des produits chimiques (ateliers, centrale de béton…) sont munies de dispositifs de récupération (exemple : décanteurs déshuileurs respectant la norme de rejet de 5 mg/l (norme NF EN 858-1 de 2002 (21)), voile siphoïde, regards décanteurs, etc.), auxquels sont assujettis des protocoles de maintenance et de vidange vers des filières de valorisation/traitement de déchets dûment autorisées.

Modalité de suivi

Un suivi continu des modalités de travaux est réalisé tout au long du projet. Les dispositifs de stockage des produits dangereux sont entretenus pendant toute la durée des travaux. es dispositions sont inscrites dans les cahiers des charges des entreprises de travaux. L'ensemble des mesures de protection environnementale est mis en place par les entreprises travaux et plus particulièrement suivi par le chargé environnement de chantier :

- **surveillance du bon fonctionnement des dispositifs de protection des eaux prévus au niveau des zones de dépotage puis de stockage de matières dangereuses reçues en vrac et des zones de distribution des carburants**

  Les dispositifs de protection des eaux prévus au niveau des zones de dépotage puis de stockage de matières dangereuses reçues en vrac (carburants pour les engins/véhicules et GPL pour les chaufferies) et des zones de distribution des carburants font l'objet d'un entretien préventif et d'un contrôle régulier de leur état : vérifications de l'étanchéité des zones de dépotage et des rétentions associées, de l'adéquation matériaux des rétentions et produits dépotés/stockés, de l'adéquation volume des rétentions et volumes dépotés/stockés, des points bas et du volume libre disponible dans les rétentions, du bon fonctionnent des détecteurs de fuite, le cas échéant, de la présence de produits fixant ou absorbant aux abords de la zone de dépotage/distribution, du bon fonctionnement des obturateurs, le cas échéant. L'ensemble des opérations d'entretien et de contrôle effectuées est consigné sur un registre éventuellement informatisé et tenu à la disposition de l'administration ;

- **maintien de l'étanchéité des sols des locaux de travail et surveillance de la présence et de l'état des capacités de rétention sous les stockages de matières dangereuses conditionnées**

  L'étanchéité des sols des locaux de travail dans lesquels sont manipulées des matières dangereuses est maintenue. La présence de capacités de rétention sous les stockages de matières dangereuses conditionnées est vérifiée et un entretien préventif et un contrôle régulier de leur état sont mis en place en vue de maintenir leur étanchéité (adéquation volume stocké/capacité rétention, volume libre disponible, dégradation…). L'ensemble des opérations d'entretien et de contrôle effectuées est consigné sur un registre éventuellement informatisé et tenu à la disposition de l'administration ;

- **vérification régulière des conditions d'entreposage des déchets**

  Les conditions d'entreposage des déchets ainsi que de l'étanchéité des conditionnements et des cuvettes de rétention mises en œuvre sous les stockages de déchets liquides sont vérifiées régulièrement (conditions d'entreposage et dispositifs de rétention initialement proposés afin de limiter les envols, les ruissellements, les infiltrations dans le sol et les odeurs) ;

- **registre des stocks (entrées/sorties)**

  Un registre des stocks (entrées/sorties) est mis en place et maintenu à jour pour les liquides inflammables et plus généralement les matières dangereuses détenues : nature, quantité en fonction du lieu de stockage ;

- **registre de suivi des accidents et des pollutions accidentelles**

  De manière générale, un registre rassemblant l'ensemble des déclarations d'accidents ou d'incidents faites à l'administration est mis en place et maintenu à jour (y compris pollutions accidentelles).

3.5.2.2 Organisation globale du chantier

Mesure de réduction – R2.1z : organisation globale du chantier			
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Phase(s)**
Sols	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZD, ZP, LIS, ITE)	APR, CI, F
	SNCF	Mise à niveau de la ligne 027000	APR
	CD 52	Déviation de la route départementale D60/960	APR
	RTE	Alimentation électrique	APR
	Syndicats de gestion des eaux d'Échenay et du Haut-Ornain	Adduction d'eau	APR

L'organisation du chantier est définie selon le déroulement précis des travaux et les enjeux présents. Ainsi, les entreprises réalisant les travaux ont connaissance de l'état initial de l'environnement et organisent le chantier en conséquence avec notamment la prise en compte des principes suivants :

- l'emplacement des bases vie et des aménagements annexes nécessaires pour le personnel et le déroulement des travaux (ateliers, centrale à béton, aire de dépotage, aire de lavage des engins, zone d'approvisionnement en carburant…) positionnés en dehors des zones humides, sensibles, inondables et suffisamment éloignée de tout cours d'eau ou écoulement superficiel notoire (à cinq mètres minimum du haut de berge, avec mise en défense) ;
- les bases vie de travaux définies pour le centre de stockage Cigéo sont au nombre de six : trois sur la zone descenderie et trois autres au niveau de la zone puits. Le personnel en charge de la construction de la liaison intersites utilise, soit les bases vie de la zone descenderie, soit celles de la zone puits ;
- six bases de chantier au droit de certains rétablissements sont prévues au niveau de l'installation terminale embranchée avec une installation principale de chantier probablement installée au niveau de la plateforme logistique de Gondrecourt ;
- la superficie des bases vie est variable et au terme de leur utilisation, une remise en état est entreprise ;
- un plan de circulation défini pour limiter les risques d'accidents de circulation telles que le renversement d'un camion contenant des produits toxiques ou polluants. La fréquence de ce type de pollution est souvent très faible mais il est très difficile de l'évaluer, elle est en relation, par exemple, avec le nombre de véhicules et la présence de situations accidentogènes ;
- l'accès au chantier et aux zones de stockages, bases vie… est interdit au public ;
- au démarrage de la phase d'aménagements préalables, les pistes de chantier en terre sont équipées d'un dispositif d'assainissement provisoire ;
- en fin d'aménagements préalables, les pistes de chantier revêtues font l'objet d'une collecte des eaux de ruissellement qui sont ensuite envoyées vers le dispositif d'assainissement de la zone ;
- l'utilisation de produits éco-responsables est privilégiée : par exemple l'utilisation de peintures sans produits écotoxiques, l'utilisation de solvants non chlorés dans les ateliers ;
- aucun apport de matériaux extérieurs à la zone d'intervention potentielle, sauf pour les besoins très spécifiques (blocs techniques de certains ouvrages d'art) et impliquant une traçabilité des matériaux ;
- la mise en place de dispositifs de stockage adaptés pour les produits dangereux présents sur les zones d'intervention potentielle. Les stockages de substances dangereuses (carburants, huiles de décoffrage, huiles hydrauliques…) sont équipés de capacités de confinement dimensionnées selon les règles de l'art. Les règles sur les incompatibilités chimiques de stockage entre produits dangereux sont respectées. Les hydrocarbures sont stockés dans des cuves à doubles parois ou équipées de bacs de rétention étanches dont le volume est au moins égal à l'ensemble du volume stocké.

  Les aires de dépotage et d'utilisation des produits chimiques (ateliers, centrale de béton…) sont munies de dispositifs de récupération (exemple : décanteurs déshuileurs respectant la norme de rejet de 5 mg/l (NF EN 858-1 de 2002 (21) classe, voile siphoïde, regards décanteurs, etc.), auxquels sont assujettis des protocoles de maintenance et de vidanges vers des filières de valorisation/traitement de déchets dûment autorisées ;
- au terme de certains travaux (notamment en fin d'aménagements préalables), certaines zones d'intervention potentielles sont non utilisées pour les phases ultérieures du centre de stockage Cigéo. Elles font alors l'objet d'une remise en état de qualité avec :
  - ✓ un démantèlement des bases vie, des aménagements annexes (stockage provisoire de matériaux, atelier, parking…) ;
  - ✓ une évacuation des déchets ;
  - ✓ des travaux de type agricole sur le sol (décompactage, griffage) avant un aménagement. Les caractéristiques de ce dernier varient selon l'usage de la zone restituée au milieu : parcelle agricole, plateforme technique…

Des procédures spécifiques sont mises en place :

- pour le tri des déchets sur le chantier et le mode de stockage associé avant une évacuation vers une filière de valorisation ou de traitement selon la nature du déchet (élaboration d'un document type Schéma d'organisation et de gestion des déchets – SOGED) ;
- pour le stockage de produits dangereux, les dispositifs de stockage adaptés aux produits dangereux présents sur les zones d'intervention potentielle sont mis en place en veillant à la compatibilité chimique des produits entre eux (mesure de réduction pour les incidences potentielles qualitatives sur les eaux) ;
- pour l'approvisionnement en carburant des engins avec au besoin un poste de distribution fixe de carburant pour les engins mobiles et un camion-citerne muni d'un dispositif de sécurité pour l'approvisionnement sur le chantier des engins peu mobiles (approvisionnement bord à bord avec mise en place de bac de récupération des égouttures) ;
- pour la vidange, l'entretien et le nettoyage des engins et du matériel de chantier (zone spécialement définie et aménagée) ;
- pour le contrôle de la qualité des matériaux apportés de l'extérieur pour les travaux (réalisation de remblais techniques notamment et du ballast des infrastructures ferroviaires) afin de veiller à la non-pollution du milieu ;
- pour la protection des zones à enjeux (zones humides, proximité cours d'eau, habitats protégés…) par mise en place de barrières provisoires pour assurer une mise en défend de la zone et un panneautage rappelant les consignes environnementales à suivre ;
- pour l'accueil sur chantier et la formation du personnel de chantier notamment pour la procédure d'alerte et d'intervention en cas de pollution du sol ou des eaux ;
- pour la réalisation des terrassements, une information spécifique est dispensée au personnel pour les sensibiliser aux risques faibles de découverte d'engins de guerre dans les zones d'intervention potentielle ;
- pour la remise en état des zones d'intervention potentielle temporaires : ces dernières font l'objet d'une remise en état de qualité avec démantèlement des bases vie et des aménagements annexes, une évacuation des déchets et des travaux de type agricole sur le sol (décompactage, griffage) avant un aménagement. Les caractéristiques de ce dernier varient selon l'usage de la zone restituée au milieu : parcelle agricole, plateforme technique… ;
- pour la gestion des incidents ayant un impact sur l'environnement (cf. Mesure R2.1d – Mise en place de dispositifs de stockage adaptés pour les produits dangereux) et notamment la présence de kits anti-pollution sur le chantier et dans les engins de chantier avec au préalable une sensibilisation du personnel.

» DÉMARCHE ENTREPRISE EN CAS DE CONSTAT D'INCIDENT AYANT UN IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Les services de l'État compétents sont informés dans les plus bref délais en cas de constat d'incident ayant provoqué une pollution du milieu.

Un incident peut avoir plusieurs origines : un acte de malveillance (vandalisme, incendie…) ou le constat d'une anomalie lors de l'interprétation des résultats de suivi des différentes composantes de l'environnement (air, eau, biodiversité…) et de leur comparaison avec l'état initial, état de référence.

Une analyse des conséquences de l'incident sur les différentes composantes de l'environnement est entreprise afin de déterminer le plan d'action nécessaire pour y remédier.

Des panneaux de chantier rappelant l'ensemble des règles de protection environnementales à suivre sur le chantier sont mis en place.

La mesure A6.2c : information, formation et sensibilisation du personnel de chantier (cf. Chapitre 5.7.3 du présent volume) précise les modalités d'accueil et d'information du personnel de chantier.

Modalité de suivi

Un suivi continu des modalités de travaux est réalisé tout au long du projet avec production de documents de cadrage et définition de l'organisation de suivi. Tous les dispositifs permettant d'assurer des travaux respectueux de l'environnement sont contrôlés, entretenus et maintenus en parfait état de fonctionnement pendant toute la durée des travaux, afin de garantir leur efficacité.

L'ensemble des mesures de protection environnementale est mis en place par les entreprises travaux et plus particulièrement suivi par le chargé environnement de chantier. Une feuille d'émargement est mise à disposition à chaque accueil, réunion d'information, exercice de simulation… Un reporting de synthèse est rédigé à l'attention du maître d'ouvrage. Le personnel est sensibilisé et formé, il est soumis à des tests périodiques de situation d'urgence. Une procédure de gestion de crise est rédigée et partagée.

De manière générale, un registre rassemblant l'ensemble des déclarations d'accidents ou d'incidents faites à l'administration est mis en place et maintenu à jour (y compris pollutions accidentelles).

3.5.2.3 Rappel des mesures de réduction relatives aux émissions atmosphériques

Les mesures relatives aux émissions atmosphériques sont détaillées au chapitre 2.4 du présent volume. Les mesures d'évitement comme la mise en place d'un convoyeur semi-enterré et recouvert, ainsi que les mesures de réduction, visent à réduire les émissions de poussières et leur dépôt sur le sol :

- R2.1a - prise en compte des conditions météorologiques : arrosage des pistes et des zones de stockage des matériaux par temps sec ;
- R2.1a - mise en place de revêtement sur les pistes empruntées par les véhicules (réalisation des enrobés au plus tôt) ;
- R2.2z – végétalisation des verses au plus tôt afin de réduire les surfaces soumises aux intempéries et au vent ;
- R2.2z – brumisation des verses non couvertes ;
- R2.1z - mise en place de dispositifs pour limiter les émissions de poussières.

3.5.2.4 Rappel des mesures de réduction relatives au déversement de polluants susceptible d'impacter les eaux superficielles

Les principales mesures de réduction et les modalités de suivi relatives aux incidences sur les eaux superficielles, décrites au chapitre 5.3 et 5.4 du présent volume, contribuant à limiter la pollution des sols sont :

- R2.1d – mise en place de dispositifs de traitement des rejets des eaux pluviales pour ne pas altérer la qualité des eaux superficielles et des eaux souterraines par transfert ;
- R2.2q – mise en place d'un dispositif de traitement complémentaire des eaux de ruissellement des verses ;
- R2.2z - mise en place d'une gestion des eaux industrielles et des eaux usées selon les principes de l'assainissement collectif (et non collectif pour les eaux usées durant la phase d'aménagements préalables) :
  - ✓ la mise en place d'une station d'épuration par zone pour un rejet conforme au bon état chimique et écologique des eaux superficielles ;
  - ✓ la mise en place d'un assainissement non-collectif sur les bases vie ou raccordement au réseau local.
- R2.1z – mise en place d'un dispositif de traitement des eaux de fond par zone ;
- R2.2z – gestion des effluents non conventionnels ;
- R2.2o – respect de la politique Zéro phyto pour limiter l'apport de produits chimiques dans les eaux superficielles lors de l'entretien des accotements et espaces verts.

3.5.2.5 Rappel des mesures de réduction relatives à la gestion des déchets

Les mesures relatives à la gestion des déchets sont détaillées au chapitre 10 du présent volume de l'étude d'impact du projet global Cigéo. Les principales mesures relatives rappelées ci-dessous participent à la limitation de la pollution des sols. Il s'agit :

- E3.1z - réutilisation de déblais en remblais ;
- R2.1z - sensibilisation des entreprises intervenantes à une bonne gestion des déchets ;
- R2.2z - privilégier le réemploi et la valorisation ;
- R2.2z - choix de prestataires agréés et autorisés pour la collecte et le traitement ;
- R2.2z - traçabilité et suivi des déchets ;
- R2.2z - tri des déchets.

Par ailleurs, en phase de fonctionnement, un plan de zonage spécifique aux déchets, permettant d'identifier les zones de production possible de déchets nucléaires et les zones dites à déchets conventionnels, contenant une cartographie des locaux et les modalités du contrôle de sa validité, est soumis à l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection dans le cadre de la présente demande d'autorisation de création du centre de stockage Cigéo.

L'Andra et les maîtres d'ouvrage associés mettent en œuvre, en fonction de la nature et des gisements des déchets produits, des solutions de gestion visant à privilégier le réemploi et la valorisation.

Les déchets radioactifs seront systématiquement triés au plus près de la source de production, puis conditionnés sur la zone de production dans un premier emballage assurant leur confinement, avant d'être transférés vers un local de regroupement des déchets d'exploitation. Ils seront ensuite envoyés vers l'un des deux centres de gestion des déchets de l'Andra.

3.5.2.6 Rappel des mesures de réduction en cas d'accidents

Les mesures pour prévenir les impacts sur l'environnement en cas d'accident sont développées au chapitre 11 du présent volume de l'étude d'impact. Seuls les risques d'accident pouvant potentiellement concerner le sol sont synthétisés dans ce chapitre. Il s'agit du risque de dispersion d'éléments radioactifs en cas d'accident lors du transport des colis de déchets radioactifs et du risque de fuite sur un camion de livraison du carburant.

Le risque de dispersion d'éléments radioactifs en cas d'accident de transport des colis de déchets radioactifs est très limité. Les colis sont transportés dans des emballages très robustes, résistants, sans déformation ou fuite dans des conditions accidentelles sévères (chute de neuf mètres sur une surface indéformable, chute d'un mètre sur un poinçon, incendie à 800 °C pendant 30 min). Dans les conditions de transport prévues, un accident qui surviendrait ne remet pas en cause l'intégrité des emballages et des colis.

Les postes de conduite des locomotives sont équipés de dispositifs « homme mort » et le convoi est suivi en temps réel, déclenchant une alerte et les secours en cas d'anomalie. En cas de fuite ou de déversement accidentel, des kits anti-pollution sont mis en œuvre, les terres polluées sont récupérées et stockées dans des fûts étanches puis collectées, transférées et traitées par des entreprises spécialisées.

Par ailleurs, un dispositif de gestion de crise est prévu en cas d'incident ou d'accident de transport de matières nucléaires, prévoyant entre autres l'alerte des pouvoirs publics.

À l'intérieur du centre de stockage, même si la manutention des colis de déchets radioactifs est réalisée uniquement à l'intérieur de certains locaux, l'ensemble du bâtiment est conçu pour assurer un confinement évitant ainsi une contamination des sols.

Pour limiter les fuites de carburant sur un camion de livraison, des mesures de contrôle systématique et de contrôle de conformité sont prévues ainsi que des mesures d'inspection régulières. Malgré ces mesures, si un accident survenait, la circulation et le déchargement seraient arrêtés. Par ailleurs, les installations sont conçues pour éviter tout rejet des eaux pluviales directement dans le milieu naturel et toute infiltration non maîtrisée dans les sols (imperméabilisation des voieries, aires de dépotage étanches avec séparateurs d'hydrocarbures, collecte et traitement des eaux polluées).

3.5.3 Incidences résiduelles

Le principal risque de pollution des sols est lié aux situations accidentelles lors des travaux. Toutes les mesures sont mises en œuvre pour réduire l'occurrence des accidents et pour parer au plus vite aux déversements accidentels d'effluents. Ainsi **le risque de pollution des sols par le projet global Cigéo est très faible.**

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle très faible sur la pollution des sols.

Aucune mesure compensatoire n'est nécessaire.

3.6 Synthèse des incidences et mesures sur les sols

Le tableau 3-8 synthétise les mesures mises en œuvre afin de limiter les impacts sur les sols.

Tableau 3-8 Synthèse des mesures mises en œuvre pour les sols dans le cadre du projet global Cigéo

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effets attendus de la mesure	Modalités de suivi	MOA	Opération
Changement d'occupation des sols	**Changement d'occupation des sols : niveau d'incidences potentielles : notable**						
	E3.2b – réutilisation d'installations existantes	E	APR	Évitement de surfaces non artificialisées	Suivi de la liste des installations réutilisées à toutes les étapes clefs de la conception.	Andra	Centre de stockage Cigéo
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000
	E2.1b – utilisation de la voirie existante, des chemins et autres pistes ainsi que les layons existants sous la ligne 400 Kv	E	APR	Évitement de surfaces non artificialisées	Un suivi de l'utilisation de la voirie existante, des chemins et autres pistes est réalisé à toutes les étapes clefs de la conception et suivi de l'occupation des sols en nature et surface.	Andra	Centre de stockage Cigéo (ZP, ZD, LIS, ITE)
						CD52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
	R2.2z – approvisionnement en énergie par des lignes électriques enterrées	R	APR, CI, F	Réduction de consommation d'espace par des pylônes	Il est vérifié, à toutes les étapes clés de la conception, que les modalités d'approvisionnement en énergie par des lignes électriques enterrées seront respectées	RTE	Alimentation électrique
	R1.2a – optimisation de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo	R	APR	Réduction de surfaces artificialisées	Suivi de la répartition de l'occupation des sols et notamment des surfaces artificialisées réalisé de la conception jusqu'à la fermeture	Andra	Centre de stockage Cigéo
	R2.2k – création d'espaces verts au sein des zones artificialisées	R	CI, F	Diminution des surfaces artificialisées	Suivi régulier des superficies imperméabilisées et végétalisées de la conception jusqu'à la fermeture	Andra	Centre de stockage Cigéo
	R2.2z – végétalisation progressive des verses	R	CI, F	Retour progressif à l'état non artificialisé des zones verses	Suivi régulier de la superficie des verses à nu et des surfaces végétalisées est réalisé de la conception jusqu'à la fermeture	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB
	R2.1r – remise en état des zones d'intervention potentielles temporaires	R	APR	Réduction de surfaces artificialisées	Il est inscrit dans le cahier des charges des entreprises de travaux, la remise en état des zones d'intervention potentielles temporaires.	Andra	Centre de stockage Cigéo
						CD52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effets attendus de la mesure	Modalités de suivi	MOA	Opération
	R1.2a – réduction des emprises de travaux le long de la ligne électrique 400 kV	R	APR	Il sera inscrit dans le cahier des charges des entreprises de travaux, un suivi strict des emprises de travaux le long de la ligne électrique 400 kV. Ces emprises seront matérialisées par un balisage.	Il est inscrit dans le cahier des charges des entreprises de travaux, un suivi strict des emprises de travaux le long de la ligne électrique 400 kV. Ces emprises seront matérialisées par un balisage.	RTE	Alimentation électrique
	Mesures de compensation écologiques, agricoles et sylvicoles (cf. Chapitres 6 et 8 du présent volume)	C	APR, CI	Compenser la création de surfaces artificialisées	Modalités de suivi détaillées dans les chapitres dédiés	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Occupation du sol : niveau d'incidence après mesures compensatoires : modérée						
Modification du relief : terrassements et mouvements de terres	**Topographie : terrassements et mouvements de terres : niveau d'incidences potentielles : notable**						
	R2.1c – équilibre du bilan remblais/déblais par réutilisation des déblais sur site	R	APR, CI	Réduction des importations ou exportations de matériaux de terrassement	Un suivi régulier de l'équilibre remblais/déblais est réalisé de la conception jusqu'à la fin des terrassements, tout comme la vérification du respect des zones de stockage par rapport au plan des stockages. Mesure des paramètres : volume ou masse des matériaux déblayés (hors verses), avec ou sans foisonnement, dont la terre végétale décapée	Andra	Centre de stockage Cigéo
	R2.1z – aménagements paysagers dès la fin des APR	R	APR, CI	Limiter le temps où les terrains sont à nu pour éviter l'érosion des sols et rétablissement des principales fonctions du sol	Un suivi régulier de la mise en œuvre des aménagements paysagers est réalisé dès la conception	Andra	Centre de stockage Cigéo
	R2.1z – intégration des verses dans le relief et le paysage	R	CI, F	Limiter le temps où les terrains sont à nu pour éviter l'érosion des sols et rétablir les principales fonctions du sol	Un suivi régulier de la mise en œuvre des aménagements paysagers est réalisé dès la conception	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB
	E2.1z – valorisation des verses et déploiement progressif de la surface de stockage	R	CI, F	Réduction des modifications de relief liées aux verses	Un suivi régulier de la superficie et des volumes de dépôt et des solutions alternatives de réemploi des verses est réalisé de la conception jusqu'à la fermeture	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Topographie : terrassements et mouvements de terres : niveau d'incidences résiduelles : faible						
Pollution des sols	**Pollution des sols : niveau d'incidences potentielles : notable**						
	R2.1d – mise en place de dispositifs de stockage adaptés pour les produits dangereux	R	APR, CI, F	Éviter la propagation de produits dangereux	Suivi des modalités de travaux Entretien et maintenance des dispositifs Registre de suivi des accidents et des pollutions accidentelles Surveillance du bon fonctionnement des dispositifs de protection des eaux prévus au niveau des zones de dépotage puis de stockage de matières dangereuses reçues en vrac et des zones de distribution des carburants Maintien de l'étanchéité des sols des locaux de travail et surveillance de la présence et de l'état des capacités de rétention sous les stockages de matières dangereuses conditionnées Vérification régulière des conditions d'entreposage des déchets Registre des stocks (entrées/sorties) Registre de suivi des accidents et des pollutions accidentelles	Andra	Centre de stockage Cigéo
						SNCF	Mise à niveau de la ligne 027000
						CD 52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						Syndicats de gestion des eaux d'Échenay et du Haut-Ornain	Adduction d'eau

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effets attendus de la mesure	Modalités de suivi	MOA	Opération
	R2.1z – organisation globale du chantier	R	APR, CI, F	Éviter la propagation de produits dangereux et veiller à la non-pollution du milieu	Suivi des modalités de travaux Entretien et maintenance des dispositifs Suivi par le chargé environnement Registre de suivi des accidents et des pollutions accidentelles	Andra	Centre de stockage Cigéo
						SNCF	Mise à niveau de la ligne 027000
						CD 52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						Syndicats de gestion des eaux d'Échenay et du Haut-Ornain	Adduction d'eau
	Pollution des sols : niveau d'incidences résiduelles : très faible						

*Type de mesure : **E** : évitement ; **R** : réduction ; **C** : compensation : **A** : accompagnement.*

*Phase : **APR** : aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement.*

Le projet global Cigéo, de par les surfaces importantes qu'il nécessite et de par son caractère industriel et nucléaire, peut impacter les sols de diverses manières :

- le centre de stockage vient modifier l'occupation des sols puisqu'il s'installe sur des terrains actuellement essentiellement forestiers et agricoles ;
- les terrassements préalables aux constructions et aux aménagements associés sur plusieurs centaines d'hectares vont modifier le relief, la nature et la structure des sols et enfin, mettre temporairement des terrains à nu ;
- les travaux de construction de l'ensemble du projet et l'activité industrielle peuvent être à l'origine de dépôt de polluants à la surface du sol.

En termes d'occupation du sol, les choix de l'Andra intervenus en amont permettent d'éviter une surconsommation de terres agricoles ou d'espaces naturels tout en garantissant les surfaces nécessaires au bon déroulement du projet :

- en stockant sur site uniquement les verses (argilites du Callovo-Oxfordien) qui sont réutilisées pour la fermeture des ouvrages souterrains. Ainsi, différentes opportunités de valorisation des verses excédentaires sont en cours d'étude ;
- en réutilisant des installations ferrées existantes : la ligne ferroviaire 027000 entre Nançois-Tronville et Gondrecourt-le-Château et la plateforme ferroviaire de l'ancienne voie ferrée Gondrecourt-le-Château/Joinville sur une distance de 10 km.

CHANGEMENT D'OCCUPATION DU SOL

Le projet engendre un changement d'occupation du sol dès le démarrage des travaux. Pour certaines opérations du projet, comme les adductions d'eau potable et les lignes électriques souterraines, les changements d'occupation du sol sont temporaires, les tranchées étant rebouchées systématiquement au fur et à mesure de l'avancée des travaux. Certaines installations de chantier le long des infrastructures de transport viennent aussi modifier temporairement l'occupation du sol.

Pour les autres composantes du projet, le changement d'occupation du sol est permanent (centre de stockage, poste de transformation électrique, déviation de la route départementale D60/960). Les zones d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo représentent 721 ha. Pour les opérations des autres maîtres d'ouvrage, les emprises potentielles concernent environ 62 hectares.

À l'échelle du projet global Cigéo, les modifications d'occupation des sols se traduisent sur l'ensemble de la durée du projet par :

- l'artificialisation d'environ 587 ha ;
- le déboisement d'environ 192 ha à 231 ha selon la valorisation des verses, principalement sur la zone puits et, dans une moindre mesure, sur la zone descenderie et sur une partie de l'ITE. Le déboisement sera progressif et dépendant de la chronologie de gestion des verses ;
- la suppression d'environ 347 ha à 415 ha de champs pour la zone descenderie, la LIS, l'ITE, le poste de transformation électrique, l'adduction d'eau, la mise à niveau de la ligne ferroviaire et la déviation de la route départementale D60/960.

Plusieurs mesures sont mises en œuvre pour réduire l'emprise du projet global :

- l'approvisionnement en énergie par des lignes électriques enterrées ;
- l'optimisation de l'emprise du centre de stockage grâce à la mise en place d'un parking silo en zone puits, la mutualisation de certaines installations entre la zone puits et la zone descenderie, la création d'une liaison intersites regroupant côte à côte des voies PL/VL et un convoyeur, et la localisation des installations de chantier des zones puits et descenderie au sein de la zone d'intervention potentielle.

D'autres mesures de réduction en termes d'occupation du sol permettent de réduire les surfaces artificialisées :

- les zones d'intervention potentielle pour les composantes du projet global à l'extérieur du centre de stockage seront remises en état à l'issue des travaux ;
- des espaces verts seront créés au sein du centre de stockage ;
- la végétalisation progressive des verses qui, au fur et à mesure, seront reboisées.

En dehors des travaux liés à l'approvisionnement du projet en eau et en énergie, les travaux liés au projet global Cigéo impactent de larges surfaces (environ 783 ha). Le centre de stockage, le poste de transformation 400 kV et la déviation de la route départementale D60/960 s'insèrent très largement sur des terres agricoles et des milieux naturels.

L'incidence résiduelle, après la mise en œuvre des mesures d'évitement et de réduction, est forte, aussi des mesures de compensation de cet effet notable sont donc mises en place. Elles concernent le milieu naturel ainsi que les activités agricoles et sylvicoles :

- compensation écologique sur des milieux boisés, sur des milieux prairiaux et des milieux cultivés. Quel que soit l'habitat concerné, ces mesures visent à diversifier les milieux de façon à augmenter la biodiversité par la création de zones d'alimentation, de repos, de nidification, d'hibernation ainsi qu'à restaurer l'équilibre écosystémique ;
- contribution financière au développement des filières agricoles et sylvicoles et reboiser le double des surfaces défrichées.

Étant donné les surfaces artificialisées, l'impact global du projet global Cigéo sur l'occupation du sol devient modérée après mise en œuvre des mesures compensatoires.

MODIFICATION DU RELIEF : TERRASSEMENTS ET MOUVEMENTS DE TERRES

La construction du projet global Cigéo implique d'adapter la topographie du site afin d'assurer une assise optimale des ouvrages et de répondre aux contraintes techniques comme aux contraintes de sécurité liées au fonctionnement. Les travaux de terrassement vont engendrer des mouvements de terre importants et nécessiter le stockage temporaire des déblais (apport de matériaux) à certains endroits du site en attendant leur réutilisation en tant que remblais (enlèvement de matériaux).

Le centre de stockage Cigéo

Plusieurs mesures de réduction sont mises en œuvre pour limiter les mouvements de terre vers ou depuis l'extérieur :

- la prise en compte de la topographie naturelle pour la composition spatiale du site ;
- une conception du projet visant à équilibrer le bilan remblais/déblais : 12,5 millions de m^3 de terres et de matériaux déblayés seront utilisés en tant que remblais *in situ* ;
- une organisation du chantier basée sur la gestion des matériaux extraits sur site et leur réemploi en fonction de leurs caractéristiques ;
- des aménagements paysagers intervenant dès la fin des aménagements préalables.

À l'issue des travaux, la zone descenderie est aplanie, le relief de la zone puits est accentué. Toutefois, les nouveaux modelés s'inscrivent dans les proportions des reliefs existants : les verses ne dépassent pas 20 mètres comme la butte du Chaufour ; la zone descenderie accentue le replat du revers de côte sur lequel elle s'inscrit.

Les modifications sur la topographie du site concernent essentiellement la zone de verses. En raison de la vocation du projet qui engendre l'extraction de matériaux provenant du creusement des galeries souterraines, le volume global de verses déposé et transitant sur la plateforme de gestion des verses au nord de la zone puits correspond à environ 11 millions de m^3. La surface remaniée maximale concernée est de l'ordre de 147 ha (en considérant la Z3 potentiellement mobilisable à l'horizon 2070-2080 si les filières de valorisation étaient compromises).

La surface de gestion des verses est optimisée : elle permet de conserver les verses vives qui représentent environ 40 % du volume global des verses extraites et de gérer les flux de verses mortes qui sont évacuées hors du site pour valorisation.

Plusieurs mesures de réduction permettent de limiter l'incidence de la zone de gestion des verses sur la topographie et le paysage, notamment leur disposition en pyramide étagée dont la pointe présente une hauteur maximum de 20 mètres. Ce choix renforce le relief existant sans créer une nouvelle colline. Les abords de la zone puits et de la zone de gestion des verses sont reboisées, fondant les verses dans un paysage forestier. Par ailleurs, les verses seront végétalisées progressivement. Les verses vives sont réutilisées pour la fermeture des ouvrages souterrains. Après la fermeture, les plateformes feront l'objet de travaux écologiques pour reconstituer un milieu naturel s'intégrant dans l'environnement.

L'incidence résiduelle après mesures de réduction est qualifiée de faible. Aucune mesure compensatoire n'est nécessaire.

Les autres opérations

En comparaison des mouvements de terres des zones puits et descenderie, ceux nécessaires aux autres installations et opérations sont de faible ampleur, ils consistent principalement à :

- terrasser la plateforme accueillant le poste de transformation 400/90 kV à proximité de la zone descenderie ;
- réaliser les tranchées de quelques mètres de large pour les liaisons électriques enterrées entre les zones puits et descenderie ;
- réaliser les tranchées de quelques mètres de large pour les adductions d'eau depuis les trois points de captages ;
- renforcer ponctuellement les ouvrages d'art des éventuels rétablissements de passages à niveau le long de la ligne ferroviaire 027000 ;
- terrasser la plateforme accueillant la déviation de la route départementale D60/960 à proximité de la zone descenderie et créer des ouvrages de franchissement des cours d'eau pour les variantes sud et nord.

Leur incidence fine sur le relief sera précisée lors des phases ultérieures d'actualisation de la présente étude d'impact associées aux autorisations nécessaires à ces opérations. Toutefois, pour ces opérations, les modifications de la topographie se limitent à la présence ponctuelle de stocks de terre sur site. L'installation du poste de transformation impose l'aplanissement du terrain sur 6 ha. Une variante de la déviation de la route départementale D60/960 nécessite des ouvrages en terre pour traverser la vallée de l'Orge. Pour les opérations de sécurisation de la ligne 400 kV, d'adduction d'eau et de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000, aucune modification complémentaire de la topographie et/ou mouvement de terre n'est attendu.

L'incidence des autres opérations est qualifiée de faible pour la déviation de la route départementale D60/960 et le raccordement électrique. Il est très faible pour l'adduction d'eau et la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000. Aucune mesure compensatoire n'est nécessaire.

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle faible sur la topographie.

POLLUTION ACCIDENTELLE DES SOLS

En phases d'aménagements préalables et de construction initiale

Au cours des phases d'aménagements préalables et de construction initiale, des pollutions accidentelles peu étendues sont susceptibles de survenir. Pour limiter ce risque, des dispositifs de stockage adaptés aux produits dangereux et aux déchets seront mis en place sur les zones d'intervention potentielle et le chantier bénéficiera d'une organisation adaptée (plan de circulation, emploi de produits écoresponsables, contrôle de la qualité des matériaux, postes de distribution de carburant, signalisation, kits anti-pollution, etc.).

Pour limiter les risques d'émissions de poussières, les pistes empruntées par les engins de chantier seront enrobées le plus tôt possible. Les conditions météorologiques seront prises en compte de façon à adapter la conduite à tenir, comme l'arrosage des pistes par temps sec. Les équipements et camions seront munis de dispositifs de bâchage et de capotage.

Le détail des mesures est présenté au chapitre 3.5 du présent volume.

En phase de fonctionnement

En phase de fonctionnement, la pollution du sol peut provenir des dépôts au sol des éléments radioactifs rejetés dans l'air et de pollutions accidentelles comme des fuites de carburant sur les camions ou les engins de chantier.

Les modélisations réalisées montrent que les dépôts au sol des éléments radioactifs rejetés dans l'air sont extrêmement faibles. Ils correspondent à des ordres de grandeur non détectables par les techniques de mesures actuelles.

Les principales sources de pollution identifiées en phase de fonctionnement correspondent à des fuites de carburant des engins de chantier/poids lourds et à des pollutions accidentelles. Le risque de fuite du carburant sur les sols est limité par le fait que les engins et poids lourds circulent sur des zones imperméabilisées dont les eaux de ruissellement sont collectées et traitées avant rejet au milieu naturel. Plusieurs mesures d'évitement et de réduction relatives à la gestion des eaux de ruissellement et à la gestion des déchets sont prévues. Elles sont traitées respectivement aux chapitres 5.3 et 5.4 et 11 du présent volume.

Dans le cadre du projet, le principal risque identifié susceptible de provoquer une pollution du sol est le risque de dispersion d'éléments radioactifs en cas d'accident lors du transport des colis de déchets radioactifs. Ce risque est très limité en raison des conditions de transport des colis de déchets radioactifs : ils sont transportés dans des emballages très robustes et ne présentant pas de déformation ou fuite dans des conditions accidentelles sévères. Les postes de conduite des locomotives sont équipés de dispositifs « homme mort » et le convoi est suivi en temps réel déclenchant alerte et secours en cas d'anomalie.

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle très faible sur la pollution des sols.

4

Sous-sol – Incidences et mesures

4.1 Incidences potentielles 96
4.2 Pollution accidentelle physico-chimique 96
4.3 Contamination potentielle par les radionucléides et les substances toxiques chimiques contenus dans les colis de déchets 97
4.4 Vulnérabilité aux risques sismiques d'origine naturelle et anthropique 103
4.5 Vulnérabilité aux risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et de tassements 104
4.6 Exploitation des ressources du sous-sol 108
4.7 Synthèse des incidences et mesures sur le sous-sol 114

4.1 Incidences potentielles

Au sein du projet global Cigéo, c'est essentiellement le centre de stockage Cigéo qui peut potentiellement impacter le sous-sol, puisqu'il est constitué autour d'une installation souterraine creusée à 500 mètres sous terre (contamination potentielle par les radionucléides et les substances toxiques chimiques contenus dans les colis de déchets). Les autres installations et opérations du projet global Cigéo sont susceptibles d'avoir des effets uniquement sur les quelques mètres du sol, puis du sous-sol les plus proches de la surface (pollution accidentelle physico-chimique : cf. Chapitre 3.5 du présent volume).

En raison de son caractère industriel et nucléaire, la construction du projet global Cigéo nécessite l'exploitation des ressources du sous-sol du fait de l'utilisation de quantités importantes de matériaux (ballasts, granulats, ciment, sables).

D'autre part, l'ensemble des installations du projet global Cigéo peut être soumis aux risques de mouvement de terrain (retrait-gonflement des argiles, cavités et tassements) et aux risques sismiques d'origine naturelle ou anthropique.

L'aggravation des risques mouvement de terrain est traité au chapitre 11.3.4 du présent volume.

Les incidences potentielles des différentes opérations du projet global Cigéo sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 4-1 Incidences potentielles du projet global Cigéo sur le sous-sol

Effets potentiels	Centre de stockage Cigéo	Alimentation électrique	Adduction d'eau	Mise à niveau de la ligne 027000	Déviation de la route départementale D60/960	Expédition et transport des colis de déchets radioactifs
Pollution accidentelle physico-chimique	APR, CI, F	APR, CI	APR, CI	APR, CI, F	APR, CI, F	
Contamination potentielle par les radionucléides et les substances toxiques chimiques contenus dans les colis de déchets	F					
Vulnérabilité aux risques sismiques d'origine naturelle ou anthropique	CI, F					
Vulnérabilité aux risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et de tassements	CI, F			APR, CI, F		
Exploitation des ressources du sous-sol	APR, CI, F			APR	APR	

*En orange : incidence potentielle notable ; en bleu : incidences potentielles non notables ; **APR** : phase d'aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement*

Le centre de stockage Cigéo présente une incidence potentielle notable sur le sous-sol.

4.2 Pollution accidentelle physico-chimique

4.2.1 Mesures d'évitement et de réduction

Les mesures de réduction présentées au chapitre 3.5.2 du présent volume permettant la gestion des pollutions accidentelles physico-chimiques sont appliquées, ainsi que leurs modalités de suivi. Il s'agit des mesures suivantes :

- R2.1d : mise en place de dispositifs de stockage adaptés pour les produits dangereux ;
- R2.1z : organisation globale du chantier.

De même, les mesures présentées au chapitre 5.4.2 du présent volume, concernant la gestion des eaux (dispositifs de collecte et de traitement avant rejet au milieu naturel), sont appliquées, ainsi que leurs modalités de suivi. Il s'agit des mesures suivantes :

- R2.1z – mise en place d'un dispositif de traitement des eaux de fond par zone : objectif d'un rejet conforme au bon état chimique et écologique des eaux superficielles ;
- R2.1d – mise en place de dispositifs de gestion des rejets des eaux pluviales pour ne pas altérer la qualité des eaux superficielles et des eaux souterraines par transfert : cela comprend notamment la collecte et le traitement des pollutions des eaux pluviales, la gestion de la pollution accidentelle et la démarche en cas d'accident ;
- R2.2z – gestion des effluents non conventionnels ;
- R2.2q – mise en place d'un dispositif de traitement complémentaire des eaux de ruissellement des verses ;
- R2.2z – Mise en place d'une gestion des eaux industrielles et des eaux usées selon les principes de l'assainissement collectif (et non collectif pour les eaux usées durant la phase d'aménagements préalables) :
  - ✓ la mise en place d'une station d'épuration par zone pour un rejet conforme au bon état chimique et écologique des eaux superficielles ;
  - ✓ la mise en place d'un assainissement non-collectif sur les bases vie ou raccordement au réseau local.

Ces mesures de prévention relatives au stockage des produits et aux dispositifs de traitement des eaux limitent les pollutions du sous-sol suite aux déversements accidentels ou à l'infiltration des eaux de ruissellement.

4.2.2 Incidences résiduelles

Malgré les mesures de réduction mises en place, une pollution accidentelle liée au disfonctionnement des véhicules ou matériels (par exemple fuites d'hydrocarbures, d'huiles, de circuits hydrauliques), à une mauvaise gestion des déchets générés par le chantier (par exemple la laitance de béton) et au ruissellement sur les terrains à nu peut atteindre les couches géologiques à l'affleurement.

Les Calcaires du Barrois qui affleurent sous et autour du centre de stockage Cigéo laissent plus facilement les polluants s'infiltrer en profondeur du fait de la karstification (cf. Chapitre 4.3 du volume III de la présente étude d'impact). En phase d'aménagements préalables, les terrassements nécessaires aux installations de surface du centre de stockage sur la zone descenderie sont importants et peuvent atteindre une profondeur maximale de 17 mètres. Les terrassements des autres installations et opérations du projet global Cigéo restent très superficiels ou ponctuels.

Comme présenté dans l'analyse des incidences sur les sols au chapitre 3 du présent volume, les quantités de polluants pouvant se répandre sont limitées. Elles ne sont pas de nature à transformer les roches en surface et de polluer les eaux souterraines (cf. Chapitre 5.2 du présent volume).

L'incidence résiduelle sur le sous-sol est très faible pour toutes les opérations du projet global Cigéo. Ainsi, une pollution accidentelle physicochimique a une incidence très faible sur le sous-sol.

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle très faible sur le sous-sol.

Aucune mesure compensatoire n'est nécessaire.

4.3 Contamination potentielle par les radionucléides et les substances toxiques chimiques contenus dans les colis de déchets

4.3.1 Mesures d'évitement et de réduction

4.3.1.1 Conditionnement définitif des déchets radioactifs

Mesure de réduction : R2.2z – conditionnement définitif des déchets radioactifs				
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Sous-opération(s)**	**Phase(s)**
Contamination radiologique et chimique	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB	ZIOS, ZD, ZP	F

4.3.1.1.1 Colis respectant les « spécifications d'acceptation »

L'ensemble des déchets radioactifs reçus sur l'INB Cigéo se présente sous forme de colis de déchets conditionnés : les conditionnements des déchets HA et MA VL sont réalisés par les producteurs. Le produit fini à l'issue de chaque opération de conditionnement constitue le « colis primaire ». Les colis primaires sont des objets solides qui confinent les radionucléides et les substances toxiques chimiques en leur sein.

Le centre de stockage Cigéo acceptera uniquement des colis respectant l'ensemble des critères permettant de s'assurer de la sûreté de leur stockage.

Au préalable, les producteurs doivent soumettre à l'Andra une demande d'acceptation pour que leurs colis de déchets puissent être réceptionnés sur le centre de stockage Cigéo. Cette demande doit comporter la démonstration que ces colis primaires respectent les critères techniques, appelés « spécifications d'acceptation ». Ces critères techniques sont définis par l'Andra en cohérence avec les exigences opérationnelles et les exigences de sûreté du stockage. Ils portent notamment sur les caractéristiques et propriétés radiologiques, physiques, mécaniques et chimiques du colis. Les spécifications d'acceptation font l'objet d'un accord préalable à leur application par l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection (22).

Ainsi, les colis de déchets ne seront acceptés sur le centre de stockage qu'après un processus permettant de s'assurer du respect de ces critères. Ce processus, dit « d'acceptabilité », comprend en particulier la vérification des documents de justification apportés par le producteur sur la conformité des colis aux spécifications d'acceptation. Par ailleurs, l'Andra exerce des actions de surveillance régulières et périodiques (audits, inspections, visites techniques…) sur les sites de production et d'entreposage des colis de déchets des producteurs. Ces actions visent notamment à conforter la confiance de l'Andra quant à la qualité des colis fabriqués et au respect des dispositions prévues par le producteur pour assurer la conformité de leurs colis aux spécifications d'acceptation. Ces actions viennent en complément des actions de surveillance propres que chaque producteur met en place pour garantir la qualité de ses colis.

Les colis primaires de déchets ne pourront donc être expédiés par les producteurs vers le centre de stockage Cigéo qu'après accord de l'Andra.

Ils feront l'objet de contrôles à leur réception sur le centre de stockage. Ces contrôles sont systématiques et sont de deux natures :

- un contrôle « documentaire » du dossier fourni par le producteur et accompagnant le colis depuis son site d'expédition et du numéro d'identification du colis ;
- un contrôle « physique » au déchargement sur le centre de stockage Cigéo afin de vérifier le respect des critères techniques spécifiés du colis. Ces contrôles sont associés à des critères radiologiques, comme des mesures du débit de dose au contact et à deux mètres, des mesures de contamination surfacique, et à des critères physiques de dimensions, de masse…

En complément, des contrôles, non systématiques mais approfondis (appelés « contrôles hors flux ») sont effectués sur des colis prélevés par sondage. Ces contrôles permettent en particulier de vérifier la qualité des conteneurs et la nature des déchets contenus *via* une installation de radiographie X très haute énergie (cf. Figure 4-1) et l'étanchéité des colis *via* des mesures de dégazage. Ces contrôles hors flux pourront être réalisés soit avant envoi, soit à réception sur le centre de stockage Cigéo.



Figure 4-1 *Photographie d'une radiographie très haute énergie d'un colis contenant un fût de déchets technologiques placé dans un conteneur en béton*

En cas d'écart constaté à un ou plusieurs critères techniques spécifiés par l'Andra, le colis ou les colis incriminés font l'objet, conformément à la réglementation, d'une analyse par l'Andra de l'assurance que les caractéristiques et les propriétés de ce/ces colis de déchets radioactifs en écart restent acceptables notamment vis-à-vis de la démonstration de sûreté et de l'impact sur l'environnement. Selon le résultat de l'analyse, plusieurs possibilités de gestion sont envisagées : le renvoi du colis sur le site producteur pour remise en conformité, la remise en conformité du colis sur le centre de stockage Cigéo ou la mise en stockage du colis avec des précautions éventuelles en fonction du type d'écart.

4.3.1.1.2 Conteneurs de stockage

Les colis de stockage HA sont constitués d'un colis primaire HA provenant des producteurs de déchets complétés par un conteneur de stockage.

Les colis de stockage HA empêchent puis limitent la dissémination des radionucléides et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets en exploitation et après fermeture :

- le conteneur de stockage en acier assure à lui seul le confinement aussi longtemps qu'il conserve son étanchéité à l'eau. Cela correspond à une première période après fermeture (de l'ordre de quelques centaines d'années) caractérisée par une activité encore élevée des radionucléides à période courte et moyenne des déchets HA. Cette période permet également de mobiliser les caractéristiques de la couche du Callovo-Oxfordien et de la matrice de verre dans des conditions thermiques correspondant à une bonne connaissance du comportement des radionucléides et des substances toxiques chimiques en température et à une faible dissolution de la matrice verre du fait de la présence d'eau ;
- la matrice de verre limite les relâchements des radionucléides et des substances toxiques chimiques, après la perte d'étanchéité du conteneur de stockage HA.

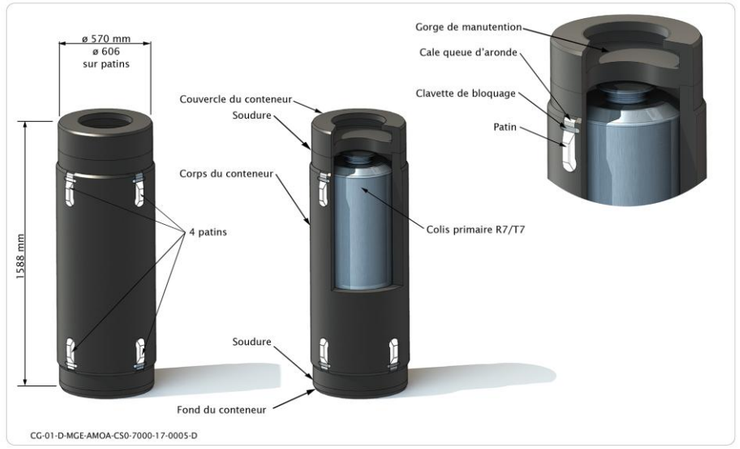


Figure 4-2 Illustration d'un colis de stockage des déchets vitrifiés avec son conteneur de stockage

Les colis de déchets MA-VL stockés sont :

- des colis primaires mis directement en alvéole de stockage ou après mise en panier (mode de stockage nommé « stockage direct ») ;
- des colis primaires après mise en conteneur de stockage (avec couvercle renforcé vis-à-vis du confinement dans certains cas particuliers). Lorsque le colis primaire est complété par un conteneur de stockage, l'ensemble colis primaires et conteneur de stockage constitue alors le colis de stockage transféré en installation souterraine pour y être stocké.

Le matériau constitutif du conteneur de stockage est le béton armé pour la majorité des familles (pour quelques familles de colis primaires de grandes dimensions, le conteneur de stockage est en acier).

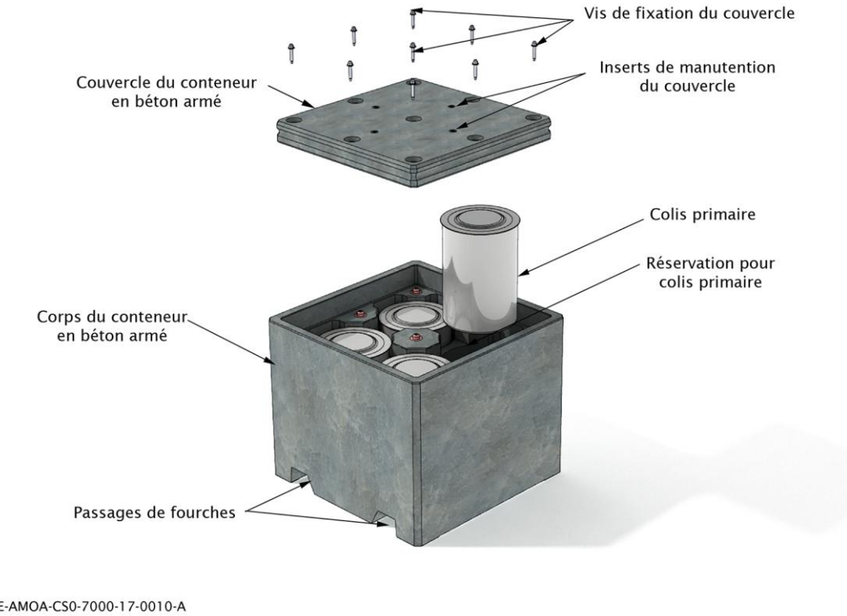


Figure 4-3 Illustration d'un colis de stockage MA-VL en conteneur béton

L'Andra dispose d'un retour d'expérience lié à un nombre important d'essais de fabrication de démonstrateurs. Des essais ont été menés avec ces conteneurs de stockage pour qualifier leur dimensionnement vis-à-vis des conditions d'exploitation (tenue au gerbage), ou des risques liés à la manutention (chute), à la tenue au feu ou encore au comportement d'une pile au séisme.

Modalités de suivi

Le respect des spécifications d'acceptation est garanti par un processus d'approbation et d'acceptation des colis incluant des contrôles par les producteurs de déchets et par l'Andra.

4.3.1.2 Conception de l'installation souterraine garantissant le maintien des caractéristiques du Callovo-Oxfordien favorables au confinement

Mesure de réduction : R2.2z – conception de l'installation souterraine garantissant le maintien des caractéristiques du Cox favorables au confinement

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Sous-opération(s)	Phase(s)
Contamination radiologique et chimique	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB	ZIOS	F

Comme indiqué au chapitre précédent, la conception de l'installation souterraine vise à garantir la sûreté de l'installation tant en exploitation qu'après fermeture.

» DÉBIT DE DOSE ET RADIOLYSE

Le **débit de dose** est la fraction de dose d'irradiation absorbée par unité de temps. Il s'exprime en Gray (Gy)/h.

La radiolyse est la décomposition de la matière (solide, liquide, gazeuse) sous l'effet d'un rayonnement énergétique intense.

Ainsi, les prescriptions de conception visent notamment à :

- garantir une épaisseur de Callovo-Oxfordien non endommagé d'au moins 50 mètres au-dessus et au-dessous des alvéoles de stockage ;
- adapter l'orientation des alvéoles de stockage pour limiter l'endommagement vertical du Callovo-Oxfordien au pourtour immédiat des ouvrages souterrains lors des activités de creusement ;
- favoriser la dissipation de la chaleur des déchets hautement radioactifs en limitant la densité de chargement des colis au sein des alvéoles de stockage (colis stockés sur un seul niveau, nombre de colis par alvéole et espacement entre alvéoles adaptés à la puissance thermique dégagée par les colis). La conception du centre de stockage Cigéo vise à préserver les propriétés favorables du Callovo-Oxfordien, ce qui conduit l'Andra à retenir de manière prudente un critère de température maximale dans le stockage et le Callovo-Oxfordien de 100 °C (90 °C en pratique afin de tenir compte des incertitudes et variabilités de toute nature) et un critère de résistance mécanique sous chargement thermique (contrainte effective maximale) permettant d'éviter les phénomènes de fracturation thermique. La densité de chargement des colis au sein des alvéoles et des alvéoles au sein du quartier de stockage est déterminée de façon ne manière à respecter les critères susmentionnés afin préserver les propriétés favorables du Callovo-Oxfordien ;
- limiter les interactions physico-chimiques au sein du stockage et entre le stockage et le Callovo-Oxfordien ; Cela conduit notamment à séparer les déchets HA et MA-VL dans des zones distinctes éloignées de plusieurs centaines de mètres, et à mettre dans un même alvéole MA-VL des déchets MA-VL compatibles et à séparer les alvéoles de déchets MA-VL d'une distance d'environ 50 mètres ;
- réaliser des scellements à base d'argile gonflante, matériau argileux remarquable par sa faible perméabilité et sa plasticité, notamment pour les ouvrages de liaison surface-fond, afin de limiter les flux d'eau au sein du stockage après fermeture ;
- réaliser des opérations dites de fermeture « partielle », zone de stockage par zone de stockage avant sa fermeture définitive pour limiter l'extension de la zone endommagée autour du stockage en vertical après fermeture ;
- réguler les paramètres de l'air de ventilation pendant toute la phase de fonctionnement pour favoriser la durabilité des composants de l'installation avant la fermeture de l'installation souterraine ;
- limiter le débit de dose afin de réduire les effets du rayonnement (corrosion radiolytique, radiolyse de l'eau...) avec une épaisseur de conteneur adaptée (pluri-décimétrique) ;
- assurer la stabilité mécanique des ouvrages souterrains pendant la phase de fonctionnement, notamment les alvéoles MA-VL par un revêtement/soutènement en béton adapté par ses dimensions et sa conception (par exemple un revêtement/soutènement comportant un matériau compressible).

Pour ce dernier point, on notera que les essais et mesures géo-mécaniques réalisés, tant en laboratoire au jour que dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne avec des démonstrateurs jusqu'à des échelles proches de celles envisagées dans l'installation fond du centre de stockage Cigéo, ont montré, d'une part, la capacité de réalisation des ouvrages souterrains, notamment par des méthodes minières classiques, et, d'autre part, une bonne tenue mécanique des ouvrages, âgés pour certains d'environ 20 ans. Les éléments d'analyse et de compréhension du comportement mécanique de la roche et de la tenue mécanique des ouvrages dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ont été intégrés dans les études de conception et de dimensionnement du centre de stockage Cigéo.

Modalités de suivi

Afin de s'assurer de la bonne tenue mécanique des ouvrages, des instruments de mesures sont installés au sein d'un échantillonnage d'alvéoles, permettant un suivi continu des différents paramètres.

4.3.1.3 Séparation des opérations de stockage des déchets et de creusement de nouveaux alvéoles

Mesure de réduction : R2.1z – séparation des opérations de stockage des déchets et de creusement de nouveaux alvéoles

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Sous-opération(s)	Phase(s)
Contamination radiologique et chimique	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB	ZIOS	F

Pour des raisons de sûreté, les zones nucléaires en exploitation sont séparées physiquement des zones en travaux, ce qui permet de maîtriser les risques de coactivité. Tous les flux travaux et exploitation – réseaux électriques, aérage, personnel, matériel – sont séparés (cf. Chapitre 3.2.5.1 du volume II de la présente étude d'impact). Les travaux de construction peuvent être effectués sans impact sur la poursuite des opérations de mise en stockage. De même, sous réserve de l'obtention d'autorisation, les travaux d'obturation des alvéoles, de galeries et de fermeture de quartiers de stockage pourront également être réalisés pendant la phase de fonctionnement du centre de stockage en respectant la même logique de séparation des activités.

Modalités de suivi

Un suivi du phasage des travaux de l'installation souterraine est réalisé.

4.3.1.4 Définition d'un périmètre de droit exclusif et d'un périmètre de protection

Mesure de réduction : R1.2b – définition d'un périmètre de droit exclusif et d'un périmètre de protection

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Sous-opération(s)	Phase(s)
Contamination radiologique et chimique	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB	ZIOS	F

L'article L. 542-10-1 du code de l'environnement prévoit que *« Les dispositions des articles L. 542-8 et L. 542-9* [applicables aussi au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne] *sont applicables à l'autorisation »* nucléaire qui viendra réglementer l'INB Cigéo. Le décret d'autorisation de création qui sera éventuellement pris à l'issue de l'instruction du présent dossier devra donc définir :

- un périmètre de droit exclusif (article L. 542-8 du code de l'environnement) : *« l'autorisation confère à son titulaire, à l'intérieur d'un périmètre défini par le décret constitutif, le droit exclusif de procéder à des travaux en surface et en sous-sol et celui de disposer des matériaux extraits à l'occasion de ces travaux. Les propriétaires des terrains situés à l'intérieur de ce périmètre sont indemnisés, soit par accord amiable avec le titulaire de l'autorisation, soit comme en matière d'expropriation. Il peut être procédé, au profit du titulaire de l'autorisation, à l'expropriation pour cause d'utilité publique de tout ou partie de ces terrains » ;*
- un périmètre de protection (article L. 542-9 du code de l'environnement) : *« Le décret d'autorisation institue en outre, à l'extérieur du périmètre mentionné à l'article précédent, un périmètre de protection dans lequel l'autorité administrative peut interdire ou réglementer les travaux ou les activités qui seraient de nature à compromettre, sur le plan technique, l'installation ou le fonctionnement du laboratoire ».*

4.3.1.4.1 Périmètre de droit exclusif

Le périmètre de droit exclusif (cf. Figure 4-4) donne à l'Andra le droit exclusif, au sein du périmètre INB Cigéo, de procéder à des travaux en surface et en sous-sol, ainsi que de disposer des matériaux extraits à l'occasion de ces travaux sans en être propriétaire moyennant indemnisation.

Ce périmètre de droit exclusif étant effectif lors de la délivrance du décret d'autorisation de création, et la réglementation relative aux INB imposant à l'Andra de justifier de la maîtrise foncière de l'ensemble de son périmètre INB à *« compter de la délivrance de l'autorisation de mise en service »* (article L. 542-10-1), il permet à l'Andra d'effectuer des travaux au sein du périmètre de l'INB, sans l'accord des propriétaires de terrains et moyennant une juste et préalable indemnisation, entre la délivrance du décret et de l'autorisation de mise en service.

L'Andra ne prévoit pas d'user de cette faculté pour les terrains du centre de stockage Cigéo accueillant des aménagements de surface dans la mesure où l'engagement des travaux associés aux aménagements préalables (notamment les travaux d'archéologie préventive) nécessitera la disponibilité des terrains (et donc leur maîtrise foncière) avant la délivrance du décret de demande d'autorisation de création (DAC) c'est-à-dire avant que ce droit ne soit effectif.

Le centre de stockage Cigéo comprend une installation nucléaire de base délimitée par un périmètre continu et connexe en trois dimensions en surface et en souterrain. Les usages actuels (principalement agricoles) des terrains situés au-dessus de l'installation souterraine (ZIOS) sont prévus d'être maintenus dans la mesure ; où ils sont compatibles avec les résultats de la démonstration de sûreté et où l'exploitation du centre de stockage ne nécessite pas d'effectuer des travaux sur terrains.

Il est donc proposé que le périmètre de droit exclusif porte uniquement sur la partie du périmètre INB située en souterrain (ZIOS) dans la mesure où les travaux dans cette zone ne débuteront qu'après la délivrance du décret d'autorisation de création.

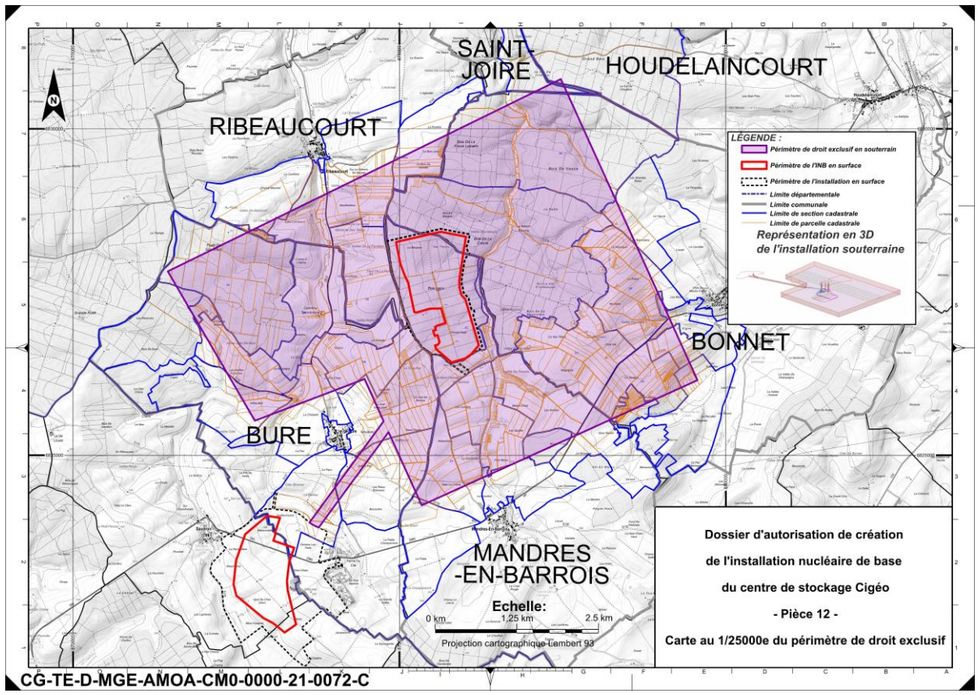


Figure 4-4 Carte du périmètre de droit exclusif

4.3.1.4.2 Périmètre de protection

Un périmètre réglementaire de protection (cf. Figure 4-5) est défini. Il a pour objectif de protéger les installations et activités du centre de stockage Cigéo des effets d'activités ou de travaux menés par des tiers en surface ou en souterrain (cf. « Pièce 12 – Servitudes et demande de périmètres de protection et de droit exclusif » du dossier de la demande d'autorisation de création (DAC) (23)).

Dans le cas particulier de la partie souterraine du centre de stockage Cigéo, le périmètre de protection doit permettre de protéger l'ensemble de l'installation nucléaire, notamment le système de stockage (au sein de la zone d'implantation des ouvrages souterrains) et ses dispositifs de surveillance. On appelle le système de stockage, l'ensemble constitué de l'installation souterraine et de la roche hôte le Callovo-Oxfordien.

En effet, l'implantation de l'INB Cigéo dans le milieu naturel (de la surface jusqu'au fond, notamment la formation du Callovo-Oxfordien) requiert la compréhension et la surveillance de l'évolution des composants naturels et ouvragés qui constituent le système de stockage ainsi que leurs éventuelles interactions avec, pour finalité, la maîtrise des conditions de relâchement puis de transfert des radionucléides et des substances toxiques contenus dans les déchets jusqu'à la biosphère à long terme.

Le périmètre de protection concerne essentiellement les impacts potentiels des forages et pompages au-dessus et à proximité du centre de stockage Cigéo, notamment pouvant entraîner une modification significative des écoulements hydrogéologiques ou porter atteinte à l'intégrité des ouvrages souterrains (notamment la couche du Callovo-Oxfordien qui permet d'assurer la sûreté passive du centre à long terme).

Sont interdites, dans le périmètre de protection, toutes activités de recherche de gîtes contenant des substances minérales, fossiles ou de gîtes géothermiques ; toute activité de forage quel que soit son objet ; toutes activités de pompage aux niveaux des aquifères des Calcaires du Barrois, de l'Oxfordien carbonaté et du Dogger, sauf autorisation des services compétents de l'État après avis conforme de l'Andra sur la compatibilité de ces activités avec le maintien du bon fonctionnement et de la surveillance du centre de stockage Cigéo, et ce quel que soit leur régime d'autorisation ou de déclaration initialement applicable (code de l'environnement, code minier ou toute autre réglementation).

L'Andra demande également à ce que les services compétents de la préfecture concernée veillent, au sein du périmètre de protection, à la bonne prise en compte du risque d'interférence de toute activité avec l'exercice du programme de surveillance de l'environnement du centre de stockage Cigéo tel qu'il sera arrêté réglementairement sur la base des éléments du dossier de demande d'autorisation de création.

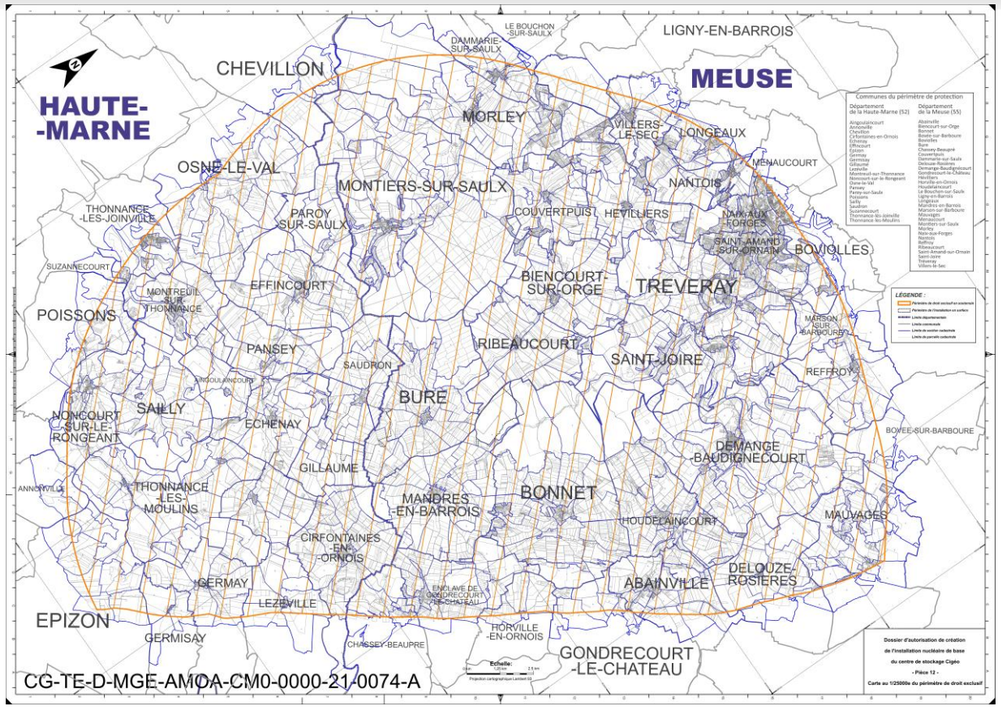


Figure 4-5 Carte du périmètre de protection

Modalités de suivi

Un suivi des activités réalisées dans le périmètre de protection sera assuré.

4.3.2 Incidences résiduelles

4.3.2.1 Confinement des radionucléides et substances toxiques chimiques contenus dans les colis

Les déchets nucléaires n'arrivent au centre de stockage qu'en phase de fonctionnement. Les installations sont alors prêtes pour les recevoir dans les conditions de sécurité maximale.

L'ensemble du centre de stockage Cigéo est conçu pour assurer la protection des hommes et de l'environnement du danger des déchets HA et MA-VL tant en phase de fonctionnement, qu'après fermeture.

Pendant la période de fonctionnement, les sources d'émissions par les colis de déchets concernent les substances toxiques chimiques et quelques éléments radioactifs gazeux susceptibles de s'échapper en faible quantité de certains colis de déchets MA-VL et à la présence potentielle de particules radioactives sur les surfaces externes des colis des déchets (dans la limite de la réglementation des transports).

La couche du Callovo-Oxfordien et les formations géologiques situées entre le Callovo-Oxfordien et la surface, de par leurs densités élevées (la densité du Callovo-Oxfordien est proche de celle du béton) et de par leurs épaisseurs, absorbent les rayonnements émis par les colis de déchets. Ils sont imperceptibles en surface et n'augmentent pas le niveau du rayonnement émis naturellement par le sol (cf. Chapitre 3 du présent volume). Le stockage des colis dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien permet de répondre à l'objectif de protection après fermeture, à très long terme, de manière passive, c'est à dire sans intervention de l'homme, de par les propriétés remarquables de cette formation et les dispositions de conception qui permettent de tirer parti de ces propriétés (cf. Chapitre 18.2 du présent volume). Située à environ 500 mètres de profondeur, et ainsi protégée vis-à-vis des activités humaines et des événements naturels en surface sur le très long terme (notamment l'érosion), la formation argileuse du Callovo-Oxfordien qui s'est déposée il y a environ 160 millions d'années présente une faible perméabilité à l'eau et de fortes capacités de rétention de la très grande majorité des radionucléides et des substances toxiques chimiques contenus dans les déchets HA et MA-VL.

Les caractéristiques du Callovo-Oxfordien sont étudiées depuis plusieurs décennies en particulier dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, mais aussi celles d'autres roches argileuses à l'international permettant de disposer d'une base de connaissances solide et croisée des propriétés de ce type de formation géologique. L'ensemble des travaux et expériences réalisés au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne a démontré la capacité de confinement de la roche (faible mobilité de l'eau et des solutés, capacité de rétention des radionucléides…).

La conception du stockage tire parti des propriétés favorables du Callovo-Oxfordien, comme par exemple un stockage borgne (sans ouverture), des bases de liaisons surface-fond regroupées pour limiter les flux d'eau au sein du stockage qui vise à garantir le maintien des propriétés favorables du Callovo-Oxfordien, par exemple en limitant la température maximale du Callovo-Oxfordien au droit des alvéoles ou quartier de stockage de déchets exothermiques, plus particulièrement les déchets HA.

Les évaluations quantitatives de la situation de référence du scénario d'évolution normale[7] permettent de vérifier la performance du système de stockage dans son ensemble tel que conçu et en tenant compte de son évolution sur le long terme. Elles soulignent ainsi la capacité de confinement de la majorité des radionucléides et de limitation de la migration de ceux mobiles à vie longue (*e.g.* Solubles et sans rétention, l'iode 129, le chlore 36 et le sélénium 79), par le système de stockage, en particulier le rôle central de la couche du Callovo-Oxfordien. Les incidences radiologiques sont très faibles, de l'ordre de 0,0015 $mSv.an^{-1}$, donc très inférieure à la valeur de référence de 0,25 $mSv.an^{-1}$ citée dans le guide de sûreté de l'ASN de 2008 (24), et correspondent à des temps caractéristiques de l'ordre de 600 000 ans. S'agissant des substances toxiques chimiques, leur migration est également très atténuée et seules les quelques substances mobiles comme le sélénium parviennent aux exutoires. Les concentrations maximales obtenues sont très inférieures aux normes réglementaires de qualité environnementale (NQE).

Les autres opérations du projet global Cigéo ne sont pas source d'émission radioactive.

[7] Le scénario d'évolution normale (SEN) vise à représenter le système de stockage tel que conçu par le concepteur, considérant que toutes les fonctions de sûreté après fermeture sont réalisées et tirant partie de l'état de la connaissance scientifique et technologique sur le système de stockage, en particulier les comportements du Callovo-Oxfordien et des composants du stockage à long terme une fois fermé et en tenant compte d'événements et processus « certains ou très probables ». Il vise à vérifier le bon fonctionnement du stockage dans le temps.

4.3.2.2 Maintien des caractéristiques du Callovo-Oxfordien favorables au confinement

4.3.2.2.1 Chaleur dégagée par les déchets HA sur les propriétés du Callovo-Oxfordien

L'espacement entre les alvéoles HA est déterminé de façon à ce que la puissance thermique résiduelle générée par les colis de déchets HA n'excède pas le critère de température maximale de 100 °C et de contrainte mécanique maximale, afin de préserver les propriétés de confinement du Callovo-Oxfordien. Cette approche de dimensionnement thermique a été établie depuis le démarrage des études sur le stockage géologique et répond aux exigences de l'Autorité de sûreté nucléaire sur le stockage géologique.

Par ailleurs, l'élévation de la température est transitoire, la puissance thermique des colis diminuant au fur et à mesure du temps, de par la décroissance radioactive des radionucléides : la période totale du transitoire thermique est de l'ordre de quelques centaines d'années à quelques milliers d'années suivant le niveau de température retenu par rapport à la température géothermale, le maximum de température dans le Callovo-Oxfordien étant atteint en quelques dizaines d'années.

4.3.2.2.2 Désaturation de la roche liée à la ventilation de l'installation souterraine

L'effet principal de la ventilation est une désaturation de la roche en champ proche des ouvrages : l'extension depuis la paroi des ouvrages et l'importance de cette désaturation sont toutefois limitées du fait de la très faible perméabilité et des capacités capillaires très élevées de la roche argileuse. La profondeur de désaturation est de l'ordre de quelques dizaines de centimètres (à mettre en perspective de la garde de Callovo-Oxfordien d'au moins 50 mètres de part et d'autre du stockage) ; elle n'affecte que la paroi des fractures de la zone endommagée mécanique autour des ouvrages et pas les blocs de roche qu'elles délimitent. De ce fait, les conséquences sur les plans hydrauliques, mécaniques et chimiques sont limitées et transitoires (après fermeture du stockage, celui-ci et la roche en champ roche désaturée se resaturent progressivement).

4.3.2.2.3 Radiolyse de l'eau et de la matière organique dans le Callovo-Oxfordien

Les débits de dose sur la roche sont faibles à très faibles du fait notamment de dispositions de conception.

Ainsi, le débit de dose externe au colis de stockage HA est limité par conception (épaisseur du conteneur de stockage en acier de l'ordre de 50 mm à 60 mm) à, au maximum, 10 gray/h en surface du conteneur de stockage, et il s'atténue très rapidement tout d'abord du fait du chemisage (quelques Gy/h au maximum sur la face externe du chemisage) puis du fait de la roche.

Dans le cas des déchets MA-VL, le débit de dose sur la roche est encore plus faible du fait notamment des épaisseurs de béton. De plus, le débit de dose décroît généralement fortement durant la première centaine d'années (décroissance radioactive) car il est souvent piloté par des radionucléides à vie courte (Cobalt 60, ou Césium 137 par exemple).

Le phénomène de radiolyse de l'eau ou de la matière organique dans le Callovo-Oxfordien est de ce fait limité et n'altère pas les performances de confinement du Callovo-Oxfordien.

4.3.2.2.4 Endommagement mécanique (fracturation) de la roche lors des activités de creusement

Le creusement des ouvrages souterrains par différentes techniques crée un endommagement (fracturation) de la couche du Callovo-Oxfordien au pourtour immédiat de ces ouvrages souterrains.

Les travaux menés dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et les observations dans d'autres roches argileuses (Opalinus Clay en Suisse, Argile de Mol en Belgique) montrent que la zone endommagée est limitée au champ proche des ouvrages, soit au maximum de la dizaine de mètres pour les ouvrages de grand diamètre.

En outre, du fait des minéraux argileux contenu dans les roches, notamment les minéraux gonflants, les smectites, il a été observé que les argilites endommagées se cicatrisent sur le plan hydraulique, en récupérant des perméabilités proches de celles des argilites non endommagées.

Les méthodes de creusement et l'architecture de l'installation souterraine ont été progressivement définies pour limiter au maximum la zone endommagée. Par exemple, une direction préférentielle de creusement des alvéoles de stockage a été définie pour limiter la fracturation de la roche en vertical et préserver une garde saine de Callovo-Oxfordien d'au moins 50 mètres de part et d'autre des alvéoles.

4.3.2.2.5 Perturbation bactériologique

La présence de bactéries et leur développement dans l'installation souterraine du centre de stockage Cigéo en exploitation et en après fermeture est prise en compte en tant que telle et par ses effets éventuels sur les processus d'évolution phénoménologique du stockage, en exploitation et en après-fermeture.

Dans la couche du Callovo-Oxfordien, aucune activité microbienne significative n'est attendue. Les connaissances acquises sur les argilites de la couche du Callovo-Oxfordien indiquent que les tailles de pores nano à microscopiques des argilites de la couche du Callovo-Oxfordien sain ne permettent pas un développement bactérien significatif à cause d'un manque d'espace, d'eau libre ou de nutriments. Divers travaux sur des matériaux argileux y compris des argiles gonflantes confortent ces éléments.

4.3.2.2.6 Oxydation

En présence d'air, les argilites (en conditions réductrices *in situ*) vont s'oxyder ; il s'agit de l'oxydation de la pyrite (espèce minérale composée de disulfure de fer (FeS_2)) présentes dans les argilites (2 % à 3 % au maximum). Ce phénomène est bien identifié par l'Andra ; il est observé à la paroi des ouvrages souterrains dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

L'influence de cette oxydation est prise en compte pour la conception des composants ouvragés, notamment les alvéoles HA. En effet, à titre d'illustration, la conception de l'installation souterraine, visant à préserver les propriétés favorables des conteneurs de stockage des déchets vitrifiés, retient certaines dispositions pour limiter l'influence de cette perturbation lors de la resaturation, notamment en introduisant un matériau de remplissage dans l'espace annulaire en extrados du chemisage de l'alvéole HA à base de matériaux cimentaires (MREA), limitant l'influence de l'oxydation des argilites lors de la resaturation.

4.3.2.3 Conclusion

L'incidence résiduelle sur le sous-sol est très faible pour toutes les opérations du projet global Cigéo. Toute la conception du centre de stockage Cigéo est élaborée pour confiner les radionucléides au sein de l'installation souterraine afin de maintenir un impact très faible pendant toutes les phases du projet. Ainsi, la présence de colis de déchets à une incidence très faible sur le sous-sol.

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle très faible sur l'homme et l'environnement.

Aucune mesure compensatoire n'est nécessaire.

4.4 Vulnérabilité aux risques sismiques d'origine naturelle et anthropique

4.4.1 Mesures d'évitement et de réduction

4.4.1.1 Implantation du stockage dans une zone géologique d'activité sismique très faible

Mesure d'évitement : E2.2f – implantation du stockage dans une zone géologique d'activité sismique très faible

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Sous-opération(s)	Phase(s)
Risque sismique	Andra	Centre de stockage Cigéo	ZD, ZP, ITE, LIS, ZIOS	APR, CI, F

Le choix du secteur d'implantation du centre de stockage Cigéo a été le résultat de plusieurs décennies de recherches pour garantir la sûreté à long terme du stockage (voir volume II chapitre 2 et volume III chapitre 4.2 de la présente étude d'impact). C'est un long processus décisionnel qui a permis de choisir, dans un premier temps, le stockage dans les argiles, puis, dans un second temps, de préciser la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) dans une zone géologique d'activité sismique très faible, et dont le contexte sismotectonique qui domine actuellement sur la région doit se poursuivre sur le prochain million d'années, en regard de la courte durée que représente le million d'années par rapport aux constantes de temps de l'évolution géodynamique interne et tectonique comptées en dizaines de million d'années. Le projet global Cigéo se situe en partie orientale du Bassin parisien qui constitue l'une des zones géologiques les plus stables de la plateforme ouest-européenne. Positionné à distance de toutes influences majeures de la compression alpine, le Bassin parisien présente un caractère asismique, au regard des régions avoisinantes (Vosges, Graben du Rhin, Alpes), confirmé par l'absence de toute activité sismique historique et instrumentale à l'ouest d'une ligne Chaumont-Neufchâteau-Commercy (cf. Chapitre 4.7.2 du volume III de la présente étude d'impact présentant les données de sismicité naturelle issues du réseau d'écoute sismique (RES) et des autres réseaux utilisés pour la surveillance régionale et nationale (RSN, RéNaSS et Résif)).

Les nombreuses campagnes d'investigations géologiques, complétées par l'étude des données de la littérature scientifique ouverte, ont permis de délimiter, à l'écart des zones de failles géologiques identifiées (e.g., fossé de Gondrecourt, faille de la Marne, faille de Poissons), une région très stable d'environ 250 km² nommée zone de transposition (ZT). Les failles existantes localisées au pourtour de la ZT sont inactives depuis au minimum 2 millions d'années et, au vu de leur signature sismique, elles sont très probablement inactives depuis les 20 derniers millions d'années.

La ZT exempte de failles majeures et de failles secondaires jusqu'à des profondeurs de 5 km à 6 km présente ainsi toutes les caractéristiques indispensables au confinement des éléments radioactifs sur de grandes échelles de temps.

Ensuite, à partir de 2009, les investigations géologiques ont permis de caractériser plus finement une zone plus restreinte, dénommée « zone d'intérêt pour la recherche approfondie » (ZIRA) d'environ 30 km² (cf. Chapitre 2.4.1.2.2 du volume II de la présente étude d'impact) au cœur de la ZT. Cette campagne a permis de confirmer l'absence de structure (faille présentant un rejet supérieur à 2-4 mètres) sur la ZIRA, aussi bien que dans le Callovo-Oxfordien et ses encaissants (Dogger, Oxfordien carbonaté et Kimméridgien) que plus largement sur l'ensemble de la pile sédimentaire mésozoïque ;

À partir de 2011, les études de la conception industrielle du centre de stockage Cigéo (études d'avant-projet) ont notamment visé l'implantation des ouvrages de stockage de façon optimale au sein de la couche de Callovo-Oxfordien de la ZIRA. La ZIOS, zone d'implantation des ouvrages souterrains, constitue donc l'emprise souterraine de la ZIRA.

De plus, dès les étapes initiales de recherche de la ZIRA, l'Andra a défini un périmètre d'implantation de la zone descenderie dans un rayon de 5 km autour de la zone de transposition. Ce périmètre a été réduit au sud et à l'est pour éviter de traverser avec la descenderie des zones de fracturation géologique connues comme le fossé de Gondrecourt-le-Château et la zone de fracturation diffuse au sud-est.

Modalités de suivi

Afin de surveiller les mouvements sismiques, un réseau d'écoute sismique a été mis en place par l'Andra depuis 2001 (cf. Chapitre 4.6.2 du volume III de la présente étude d'impact).

4.4.1.2 Conception et exploitation conformes aux règles spécifiques applicables aux installations nucléaires

Mesure de réduction : R2.2z – conception et exploitation conformes aux règles spécifiques applicables aux installations nucléaires

Facteur(s) environnemental(aux)	MOA(s)	Opération(s)	Sous-opération(s)	Phase(s)
Risque sismique	Andra	Centre de stockage Cigéo	ZD, ZP, ITE, LIS, ZIOS	APR, CI, F

Le centre de stockage Cigéo est construit, conçu et exploité, conformément aux règles spécifiques applicables aux installations nucléaires, de sorte qu'en cas de séisme, les installations soient maintenues dans un état dit « sûr » et que ce phénomène n'entraîne pas de conséquence sur l'homme et l'environnement.

Modalités de suivi

Un contrôle à la réception de chaque installation de surface est réalisé, ainsi qu'une veille pendant toute la phase de fonctionnement, notamment en cas de séisme.

4.4.2 Incidences résiduelles

Aucune faille n'a été mise en évidence dans la formation du Callovo-Oxfordien au droit de la zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie. Par ailleurs, l'ensemble des données de terrain montre que les zones de failles à moins de 20 km du site (e.g., failles de la Marne, fossé de Gondrecourt et fossé de Joinville) ne présentent pas d'indice d'activité récente. Sur le secteur de Meuse/Haute-Marne, comme dans toute la région située au nord-ouest de ce secteur, il n'existe aucun épicentre de séisme historique et la sismicité instrumentale est nulle.

Le centre de stockage Cigéo est implanté dans une zone géologique d'activité sismique très faible.

Le risque sismique anthropique engendré par les deux sites de stockage souterrain de gaz naturel de Cerville et de Trois Fontaines-l'Abbaye (cf. Chapitre 11.4.2 du volume III de la présente étude d'impact) est fortement atténué compte tenu de la distance d'éloignement au centre de stockage Cigéo (Cerville situé à 70 km à l'est, et Trois Fontaines-l'Abbaye à plus de 40 km au nord-nord-ouest). Par ailleurs, la sismicité induite, provoquée par le pompage de gaz stocké dans ces stockages souterrains est caractérisée par des évènements de très faible magnitude.

Il n'y a aucune incidence sur les infrastructures et installations du centre de stockage Cigéo, tant en surface qu'en profondeur.

Ainsi, la vulnérabilité de l'installation nucléaire de base au risque sismique naturel et anthropique est très faible.

La vulnérabilité du projet global Cigéo au risque sismique est très faible.

Aucune mesure compensatoire n'est nécessaire.

4.5 Vulnérabilité aux risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et de tassements

Parmi les risques naturels inventoriés, le risque de retrait-gonflement des argiles constitue le principal risque naturel identifié au droit du projet global Cigéo (cf. Chapitre 11 du volume III de la présente étude d'impact).

4.5.1 Mesures d'évitement et de réduction

4.5.1.1 Choix de l'orientation des alvéoles de stockage

Mesure de réduction : R2.2z - choix de l'orientation des alvéoles de stockage				
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Sous-opération(s)**	**Phase(s)**
Risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et tassements	Andra	Centre de stockage Cigéo - INB	ZIOS	CI, F

Des expériences menées dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ont permis de mettre en évidence que les propriétés mécaniques des argilites au niveau de l'implantation des ouvrages de stockage conduisent à la formation d'une zone endommagée constituée d'une zone fracturée connectée (ZFC) en paroi de galerie et d'une zone de fracturation « discrète » diffuse à l'arrière de la ZFC (cf. Figure 4-6). Il a été observé que la zone endommagée en paroi des galeries orientées suivant la contrainte principale majeure s'étend principalement latéralement alors que, pour les galeries orientées suivant la contrainte principale mineure, elle s'étend surtout au toit et au radier des galeries.

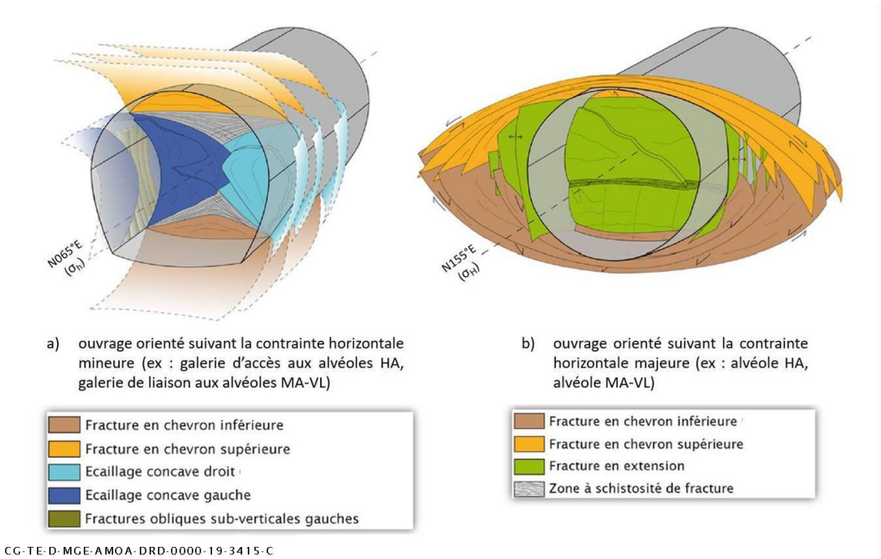


Figure 4-6 *Représentation de la fracturation induite autour des ouvrages suivant leurs orientations par rapport à la contrainte horizontale mineure (gauche) et majeure (droite)*

Ainsi, afin de limiter l'endommagement du Callovo-Oxfordien en vertical au pourtour des galeries creusées, les alvéoles de stockage seront tous creusés parallèlement à la direction de la contrainte horizontale majeure (induite par la compression alpine en champ lointain).

Des modélisations numériques ont été réalisées afin d'évaluer la stabilité à très long terme du quartier de stockage MA-VL selon une analyse multicritère. Cette étude permet de mettre en évidence que les déformations maximales calculées ne constituent pas un élément d'instabilité du quartier de stockage MA-VL, ce qui confirme donc sa stabilité à très long terme.

Modalités de suivi

Des mesures permanentes des modifications structurelles du sous-terrain sont réalisées afin de surveiller la couche du Callovo-Oxfordien et l'installation souterraine.

4.5.1.2 Adaptation des méthodes de creusement

Mesure de réduction : R2.1z - adaptation des méthodes de creusement				
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Sous-opération(s)**	**Phase(s)**
Risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et tassements	Andra	Centre de stockage Cigéo - INB	ZIOS	CI, F

Les méthodes de creusement, les éléments de soutènement et de revêtement sont adaptés à la nature et aux caractéristiques des terrains traversés en tenant compte du retour d'expérience acquis lors du creusement du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et des nombreuses expériences qui y sont conduites. Ainsi, les mesures constructives suivantes seront appliquées :

- choix des tunneliers à bouclier simple pour le creusement des descenderies et galeries de liaison, technique endommageant le moins les terrains traversés, et en particulier le massif d'argilites ;
- recours à une méthode de tir adouci lors du creusement à l'explosif ;
- mise en œuvre de dispositions propres à limiter les débits d'eau en souterrain lors du creusement au droit de zones aquifères afin de limiter le risque de déformations en surface ;
- mise en œuvre de bulbes et bouchons d'étanchéité à l'interface entre les différentes couches géologiques traversées pour éviter la mise en communication des nappes comme les venues d'eau vers le Cox qui pourraient entraîner des dégradations dans la couche.

Modalités de suivi

Des mesures permanentes des forces appliquées sur l'installation souterraine et les liaisons surface-fond seront réalisées dès la phase de construction initiale.

Un système d'observation-surveillance est mis en place, en lien avec les modifications structurelles du sous-sol suite au creusement des galeries et alvéoles souterrains. Les principaux objectifs de cette mesure de suivi des mouvements sont la confirmation et l'amélioration des modèles et de vérifier le comportement attendu de l'ouvrage souterrain et du Cox.

4.5.1.3 Adaptation des méthodes de construction des installations de surface

Mesure de réduction : R2.1b - adaptation des méthodes de construction des installations de surface				
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Sous-opération(s)**	**Phase(s)**
Risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et tassements	Andra	Centre de stockage Cigéo	ZP, ZD, LIS, ITE	CI, F

Conformément à la norme NF P 94-500 de 2013 relative aux missions géotechniques et à leur enchaînement (25), des campagnes de forages géotechniques sont prévues pour connaître précisément les caractéristiques des roches sur lesquelles sont implantées les installations de surface du centre de stockage. Toutes les dispositions constructives nécessaires seront mises en place pour réduire le risque précis identifié sous les différentes opérations. Les fondations des bâtiments et des ouvrages sont adaptées au contexte géotechnique réduisant ainsi les dommages liés aux risques naturels.

Modalités de suivi

Un contrôle à la réception de chaque installation de surface est réalisé, ainsi qu'une veille pendant toute la phase de fonctionnement.

4.5.1.4 Dispositions constructives adaptées pour le creusement des forages/piézomètres

Les forages sont réalisés dans les règles de l'art en tenant compte notamment du contexte karstique dans lequel ils peuvent s'implanter. Ces dispositions constructives sont décrites dans la mesure de réduction « R2.1d : dispositions constructives adaptées pour le creusement des forages/piézomètres » présentée au chapitre 5.4.1.3 du présent volume.

4.5.2 Incidences résiduelles

4.5.2.1 Risque de retrait-gonflement des argiles

4.5.2.1.1 Rappel de l'aléa retrait-gonflement des argiles au droit du projet global Cigéo

Dans la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo, un aléa faible retrait-gonflement des argiles apparaît sur la zone puits à l'endroit des affleurements de marnes et argiles du jurassique terminal et crétacé indifférencié (partie supérieure des Dolomies verdâtres, de la Dolomie de Saint Dizier et des Sables des Griselles plus ou moins altérés-remaniés).

Un aléa modéré à faible est indiqué dans la vallée de l'Orge à l'endroit de la nouvelle plateforme ferroviaire pour l'ITE. L'ancienne plateforme chemine dans une zone partiellement exposée à un aléa faible jusqu'à la vallée de l'Ornain répertoriée en aléa modéré. Tout le fond de la vallée de l'Ornain entre Gondrecourt-le-Château et Tronville-en-Barrois, où chemine la ligne ferroviaire 027000, est soumis à un aléa modéré.

Un aléa modéré est attribué aux affleurements de Marnes du Kimméridgien entre Gillaumé et Joinville à proximité de deux captages identifiés pour l'adduction d'eau.

Les variantes du poste 90/400 kV et des liaisons électriques enterrées sont en dehors des zones exposées à cet aléa. Par contre, la portion de ligne 400 kV à renforcer traverse des zones concernées par un aléa faible à fort, fort notamment dans la Champagne humide.

Les aléas de retrait-gonflement des argiles figurent sur la cartographie présentée ci-après.

4.5.2.1.2 Risques identifiés

Concernant le centre de stockage Cigéo, les phénomènes de retrait gonflement des argiles sont plus visibles par la mise à nu des marnes et argiles lors du décapage des terres pendant les terrassements de la phase d'aménagements préalables et de construction initiale. En l'absence de construction, ces phénomènes n'ont aucune gravité.

Le creusement des liaisons surface-fond en construction initiale est susceptible de provoquer en surface des phénomènes très locaux et ponctuels de gonflements/tassements.

En phases de construction initiale et de fonctionnement, les fondations des bâtiments et ouvrages permettent de s'affranchir des tassements différentiels induits par le retrait-gonflement des argiles. Leur adaptation au contexte géotechnique limite les risques de dommages sur les bâtiments et les ouvrages.

Les autres opérations du projet global ne sont pas susceptibles d'être impactées par l'aléa retrait-gonflement des argiles.

4.5.2.2 Risque d'effondrement de cavités

Les calcaires du Barrois, qui affleurent autour du centre de stockage Cigéo, présentent un risque d'effondrement du fait de leur karstification. Cependant, cette karstification dans la zone d'intervention potentielle est diffuse, ce qui signifie que les zones de dissolution sont de petites dimensions. Ainsi, le risque d'effondrement est faible, comme le confirme l'absence de cavité naturelle dans cette zone d'intervention potentielle.

Deux cavités sont répertoriées à proximité de l'extrémité nord de la ligne ferroviaire 027000 à Nançois-sur-Ornain. Les vibrations liées aux passages des trains en phase de construction initiale et en phase de fonctionnement qui pourraient aggraver le risque d'effondrement sont très faibles (cf. Chapitre 13.3 du présent volume).

4.5.2.3 Effondrement accidentel d'un ouvrage souterrain, voire de toute l'installation souterraine

L'installation souterraine du centre de stockage Cigéo est éloignée de la surface et représente un volume très petit par rapport au volume de roche l'environnant (localement moins de 0,1 % de la formation du Callovo-Oxfordien). Il est à comparer au *ratio* pour une mine (on parle de taux de défruitement) qui peut varier de 40 % à 75 % dans le cas d'une exploitation par chambres et piliers. Il est encore plus faible après fermeture définitive avant laquelle les ouvrages sont remblayés et scellés.

Les ouvrages souterrains de l'installation du centre de stockage Cigéo sont significativement espacés entre eux au regard de leur dimension. Cette séparation vise à limiter toute interaction physico-chimique, mais contribue à réduire les risques de nature mécanique. Par ailleurs, tous les ouvrages sont revêtus (revêtement en béton ou chemisage), ce qui contribue à leur stabilité. Enfin, le Callovo-Oxfordien présente des caractéristiques mécaniques élevées qui contribuent à la faisabilité et la bonne tenue mécanique des ouvrages souterrains dans le temps, comme le montrent les résultats du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. De plus, les roches sus-jacentes sont résistantes, particulièrement la formation de l'Oxfordien carbonaté située juste au-dessus du Callovo-Oxfordien.

De ce fait, l'éventuel effondrement accidentel d'un ouvrage souterrain (galerie), voire de toute l'installation souterraine, aurait un effet mécanique d'extension limitée à quelques mètres, voire à la dizaine de mètres au maximum à proximité des ouvrages effondrés, et serait sans incidence perceptible en surface.

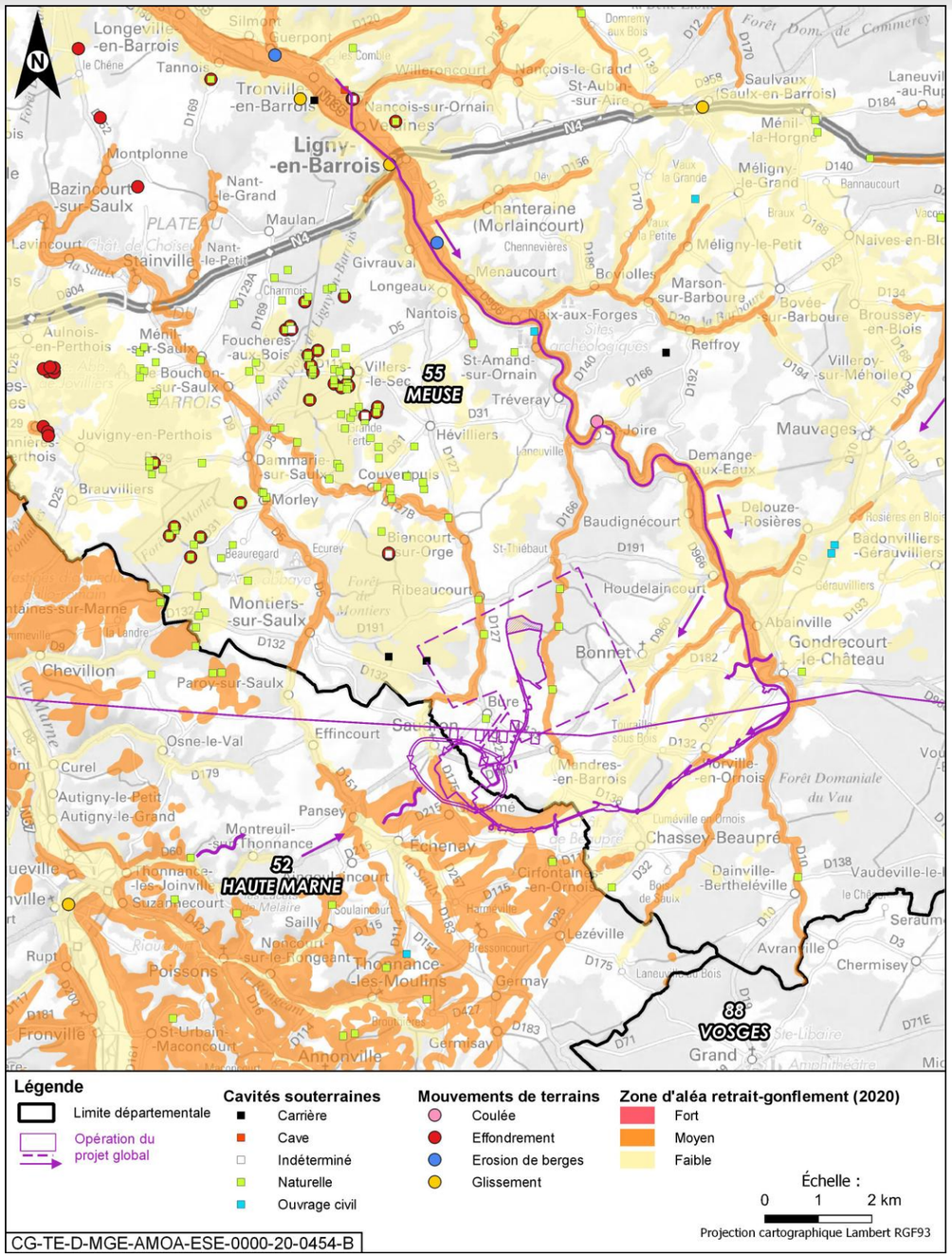


Figure 4-7 Risque de mouvements de terrain

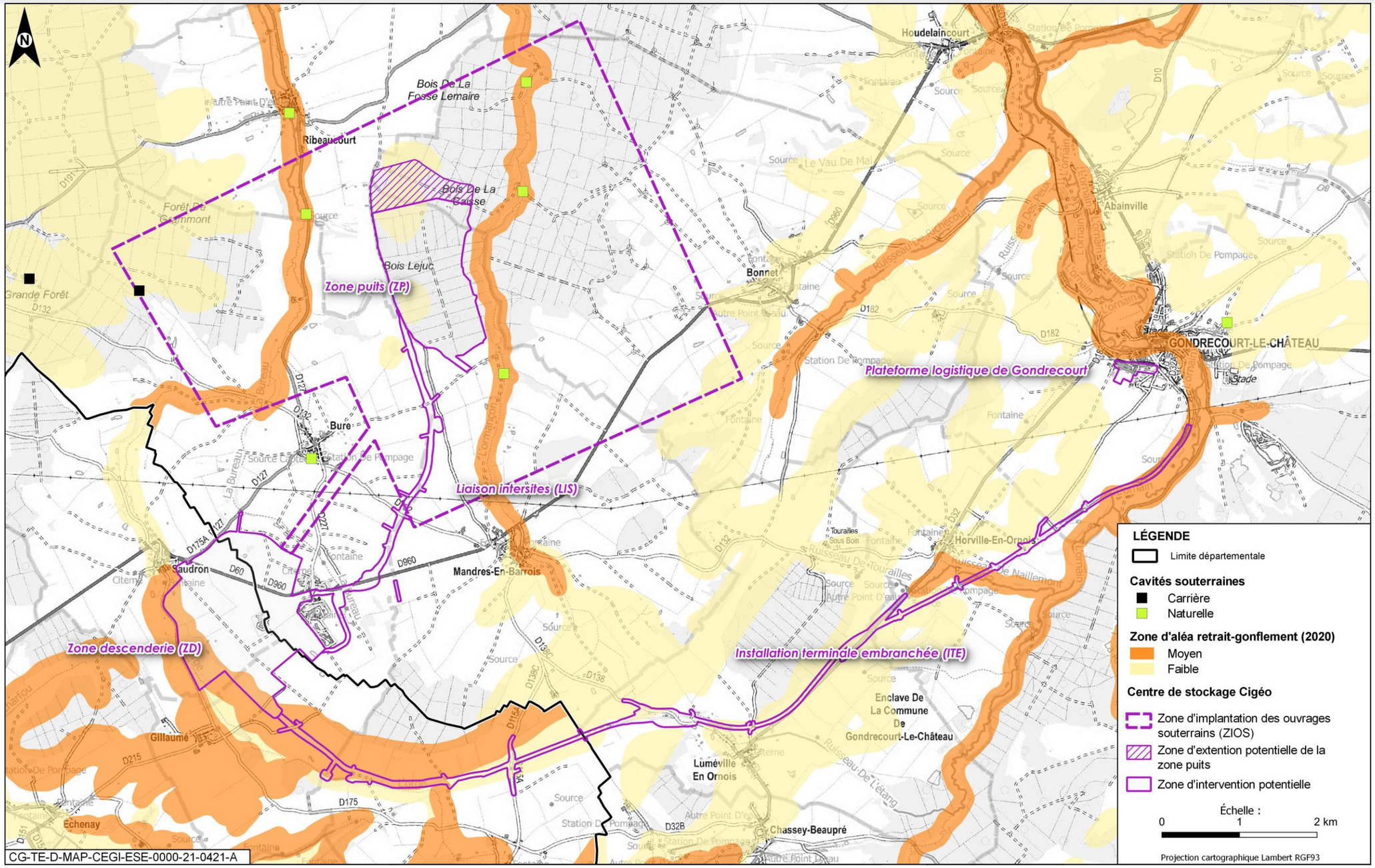


Figure 4-8 *Risque de mouvements de terrain – zoom sur le centre de stockage Cigéo*

4.5.2.4 Conclusion

Le projet global Cigéo est situé dans une zone soumise à des risques de mouvements de terrain, cavités et retrait gonflement des argiles. Le risque lié aux mouvements de terrain le plus fort sur la zone d'intervention potentielle du projet est le risque lié à l'aléa retrait-gonflement des argiles. Pour limiter les risques naturels, les méthodes de creusement sont adaptées aux caractéristiques des terrains rencontrés. De plus, grâce à la réalisation d'études géotechniques, les fondations des bâtiments et des ouvrages sont adaptées au contexte géotechnique réduisant ainsi les dommages liés aux risques naturels.

La vulnérabilité du projet global Cigéo aux risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et de tassements est très faible.

L'éventuel effondrement accidentel d'un ouvrage souterrain (galerie), voire de toute l'installation souterraine, aurait un effet mécanique d'extension limitée à quelques mètres, voire à la dizaine de mètres au maximum à proximité des ouvrages effondrés, et serait sans incidence perceptible en surface.

L'incidence du projet global Cigéo et notamment de l'INB, sur les risques mouvements de terrain (effondrement) est très faible.

Aucune mesure compensatoire n'est nécessaire.

4.6 Exploitation des ressources du sous-sol

4.6.1 Mesures d'évitement

4.6.1.1 Choix d'implantation du centre de stockage Cigéo dans une zone ne présentant pas un caractère exceptionnel ou particulier en termes de ressources souterraines

Mesure d'évitement : E2.2b - choix d'implantation du centre de stockage Cigéo dans une zone ne présentant pas un caractère exceptionnel ou particulier en termes de ressources souterraines				
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Sous-opération(s)**	**Phase(s)**
Ressources du sous-sol	Andra	Centre de stockage Cigéo - INB	ZIOS	CI, F

Dans le cadre du choix d'un site pouvant accueillir un stockage de déchets radioactifs, les zones présentant un caractère exceptionnel ou particulier en termes de ressources souterraines ont été évitées, tel que le recommande le guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde de l'ASN (24). Ainsi, le centre de stockage Cigéo est implanté dans une zone ne présentant pas un caractère exceptionnel ou particulier en termes de ressources souterraines.

4.6.1.2 Déploiement progressif de l'installation souterraine

Mesure d'évitement : E4.1z - déploiement progressif de l'installation souterraine				
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Sous-opération(s)**	**Phase(s)**
Risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et tassements	Andra	Centre de stockage Cigéo - INB	ZIOS	CI, F

Afin d'adapter le stockage aux orientations politiques de la France et de garantir toute la sûreté de son fonctionnement, l'installation souterraine est déployée progressivement. Cette mesure permet d'éviter les creusements inutiles.

La construction progressive du centre de stockage Cigéo correspond à un enchaînement prudent d'opérations de construction et de mises en service successives de parties du centre de stockage sur toute la durée de son fonctionnement. Ce phasage pourra être revu pour accélérer, retarder ou modifier la construction de ces extensions (cf. Chapitre 4.1 du volume II de la présente étude d'impact).

Le principe d'un développement progressif offre la possibilité aux générations futures de modifier le programme de livraison des colis. De plus, il favorise l'intégration aux futures tranches de construction de toutes les améliorations qui seront rendues possibles par les progrès scientifiques et techniques et par le retour d'expérience acquis sur la durée d'ordre séculaire du projet.

L'installation souterraine est construite progressivement tout au long de l'exploitation du stockage sur une durée séculaire. À une première tranche de construction et d'exploitation se succéderont des tranches ultérieures. La conception prend en compte ce développement et se concentre tout d'abord sur la première tranche tout en vérifiant la compatibilité avec les développements des tranches ultérieures.

Modalités de suivi

Un suivi de l'enchaînement des opérations de construction et de mises en service successives des parties du centre de stockage sur toute la durée de son fonctionnement.

4.6.2 Incidences après mesures d'évitement

4.6.2.1 Incidences sur l'exploitation de la ressource

La ZIOS du centre de stockage Cigéo est implantée dans une zone ne présentant pas un caractère exceptionnel ou particulier en termes de ressources souterraines et ne nécessite pas de mesure de réduction complémentaire.

Concernant les ressources naturelles, la carrière la plus proche du projet se situe à Gondrecourt-le-Château. Elle extrait les calcaires de l'Oxfordien pour les besoins locaux.

Aucune ressource de matériaux de construction, minerai, charbon et hydrocarbures n'est exploitée dans la zone d'intervention potentielle du projet global Cigéo.

Les opérations d'alimentation électrique, d'adduction d'eau de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000, de déviation de la route départementale D60/960 n'ont pas d'impact sur le sous-sol, pouvant entraîner la stérilisation de ressources du sous-sol.

4.6.2.2 Besoins en matériaux de construction

Au sein du projet global Cigéo, le centre de stockage Cigéo, et surtout l'installation souterraine, est le principal poste de consommation de matériaux de construction : les 15 km² d'installation souterraine sont renforcés par des revêtements en béton.

Selon les premières estimations, les besoins en matériaux de construction du centre de stockage sont de l'ordre de :

- 5,7 millions de tonnes de granulats ;
- 1,4 millions de tonnes de ciment ;
- 4,9 millions de tonnes de sables.

Un peu plus de la moitié de ces matériaux (51,6 %) est utilisé en phase de construction initiale pour les installations de surface, les liaisons surfaces-fond. Environ 45,6 % de ces matériaux servent principalement pour l'extension de l'installation souterraine pendant le siècle de phase de fonctionnement et de manière anecdotique pour les opérations de jouvence. Les 2,7 % restants sont mis en œuvre au moment de la phase des aménagements préalables. La quantification des consommations de matériaux de construction par période homogène pour la construction du centre de stockage Cigéo est, présentée au tableau 4-2.

Tableau 4-2 Quantification des consommations de matériaux de construction par période homogène pour la construction du centre de stockage Cigéo

Matériaux de construction	Type d'année	Période P0	Période P1	Périodes P2 à P6
Ciments	Année basse	50 000 t	0 t	0 t
	Année moyenne	120 000 t	8 000 t	15 000 t
	Année haute	180 000 t	16 000 t	25 000 t
Graviers	Année basse	50 000 t	22 000 t	30 000 t
	Année moyenne	400 000 t	50 000 t	80 000 t
	Année haute	720 000 t	63 000 t	100 000 t
Sables	Année basse	50 000 t	25 000 t	30 000 t
	Année moyenne	300 000 t	40 000 t	80 000 t
	Année haute	574 000 t	45 000 t	120 000 t

Avec :

Période P0 : Aménagements préalables et construction initiale

Période P1 : Montée en cadence de l'installation avec la phase industrielle pilote après mise en service

Périodes P2 à P6 : Phase d'exploitation courante puis de démantèlement

Les besoins en matériaux pour les opérations de caractérisation et surveillance environnementale, d'alimentation électrique, d'adduction d'eau, de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000, de déviation de la route départementale D60/960, et d'expédition et transports de colis sont faibles au regard des besoins pour le centre de stockage Cigéo. Ces besoins sont limités aux travaux suivants :

- pour l'opération de caractérisation et surveillance environnementale : la réalisation de forages ;
- pour l'opération d'alimentation électrique : passage de la fibre optique et renforcement des pylônes le long de la ligne 400 kV, construction du transformateur et mise en place des câbles électriques, de leurs gaines et stabilisation dans le sol pour les liaisons souterraines ;
- pour l'opération d'adduction d'eau : mise en place des tuyaux et stabilisation dans le sol ;
- pour l'opération de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 : réfection de la plateforme, rénovation des ouvrages d'art et construction des éventuels ouvrages de rétablissement des voiries en cas de fermeture de passages à niveau le long de la ligne ferroviaire ;
- pour l'opération de déviation de la route départementale D60/960 : création d'ouvrages d'art et de la plateforme routière.

4.6.2.3 Filières d'approvisionnement en sables et graviers

Les granulats (sables et graviers) sont utilisés dans la fabrication du béton servant à la construction des bâtiments et des ouvrages de génie civil. Ils sont également employés dans la réalisation de remblais, fondations, couches routières, etc. Ce sont des matières premières extraites dans des carrières.

L'identification des carrières de granulats au sein de la région Grand Est s'est fondée sur des informations publiques et des échanges avec les services de l'États, les établissements et collectivités publics. Ces informations ont été vérifiées et complétées à l'aide de la base de données sur les installations classées du ministère de la Transition Écologique.

Les carrières produisant généralement à la fois du sable et du gravier, les productions de sables et de graviers ne sont pas différenciées.

La région Grand Est accueille plus de 300 carrières en fonctionnement représentant une production annuelle d'environ 84 millions de tonnes, alors que les besoins de la région s'élèvent à environ 36 millions de tonnes par an. La production régionale est donc largement excédentaire. La région importe ainsi peu de granulats de l'extérieur, mais exporte vers des régions déficitaires et des pays frontaliers (Allemagne, Suisse notamment). L'analyse des flux régionaux indique que plus de 95 % des granulats (sables et graviers) consommés dans le Grand Est proviennent du Grand Est.

Les carrières sont de tailles variables. Leur capacité moyenne est d'environ 270 000 tonnes par an (tous produits confondus). Mais il y a de forts écarts par rapport à cette moyenne : certaines carrières produisent quelques dizaines de milliers de tonnes par an, tandis que d'autres produisent plus d'un million de tonnes.

La géographie de l'offre est aussi importante, en raison de la part élevée du coût du transport dans le coût global du produit, qui conduit à privilégier des distances courtes d'acheminement. Les départements alsaciens (Haut-Rhin et Bas-Rhin) sont les plus gros producteurs de la région Grand Est, mais sont aussi les plus éloignés du centre de stockage Cigéo. La Meuse et la Haute-Marne produisent respectivement environ 4 millions et 8 millions de tonnes de granulats par an (sables et graviers confondus).

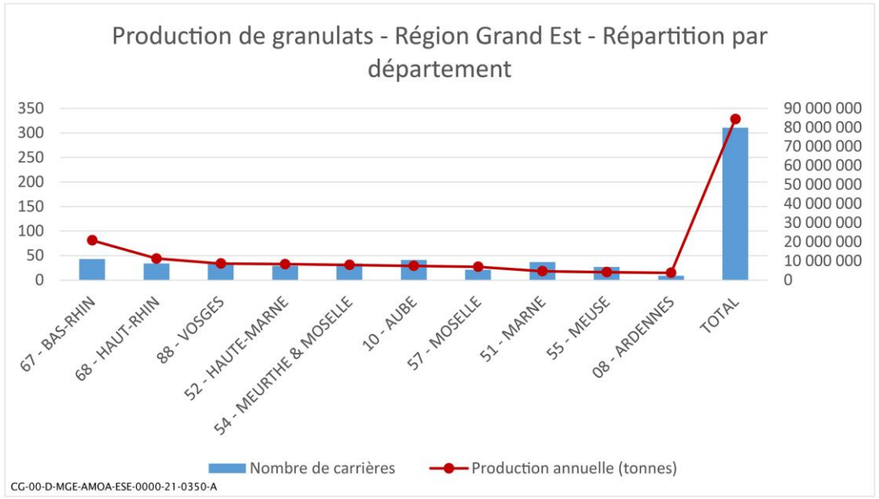


Figure 4-9 Production de granulats en Région Grand Est

À son pic, durant la phase de construction initiale, la consommation annuelle de sables et de graviers du centre de stockage Cigéo atteint un peu moins de 1,3 million de tonnes, soit environ 1,5 % de la production annuelle de la région Grand Est. Les carrières de la région Grand Est sont donc susceptibles de couvrir l'ensemble des besoins du centre de stockage Cigéo.

Parmi les carrières de la région Grand Est, une cinquantaine sont déjà identifiées comme étant susceptibles d'approvisionner le centre de stockage Cigéo, en raison de leurs caractéristiques, notamment leurs grandes capacités de production (supérieures à 250 000 tonnes par an). La production annuelle cumulée de ces carrières s'élève à 32,6 millions de tonnes, ce qui représente environ 25 fois le besoin du centre de stockage Cigéo à son année de pic.

Les graphiques ci-dessous présentent la distribution de ces carrières selon leurs distances du centre de stockage Cigéo, leurs productions annuelles et leur embranchement ou pas au réseau ferré. Les deux tiers des carrières sont à moins de 150 km. Seules cinq carrières disposent d'un terminal ferroviaire embranché.

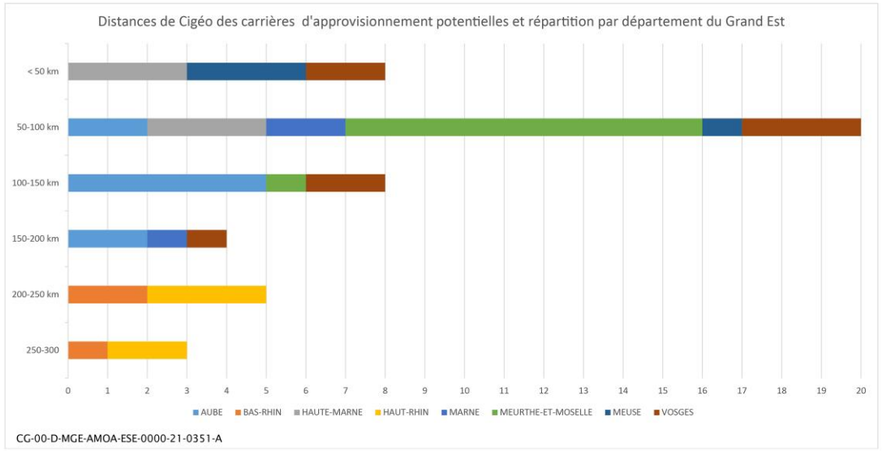


Figure 4-10 Distance entre le centre de stockage Cigéo et les potentielles carrières d'approvisionnement

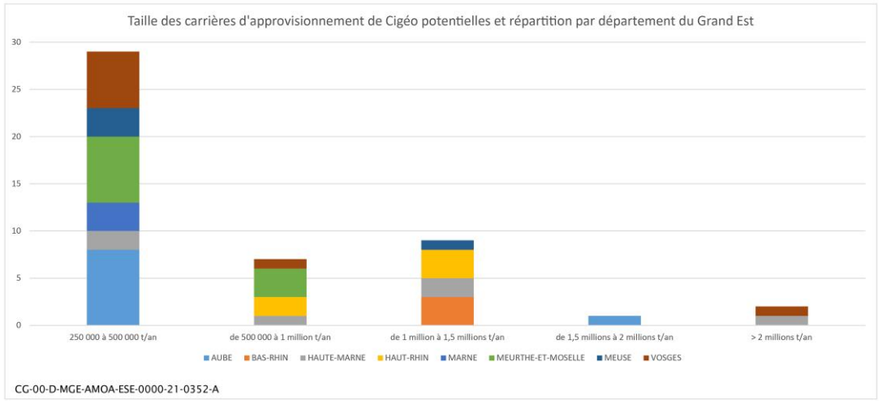


Figure 4-11 Taille des potentielles carrières d'approvisionnement du centre de stockage Cigéo

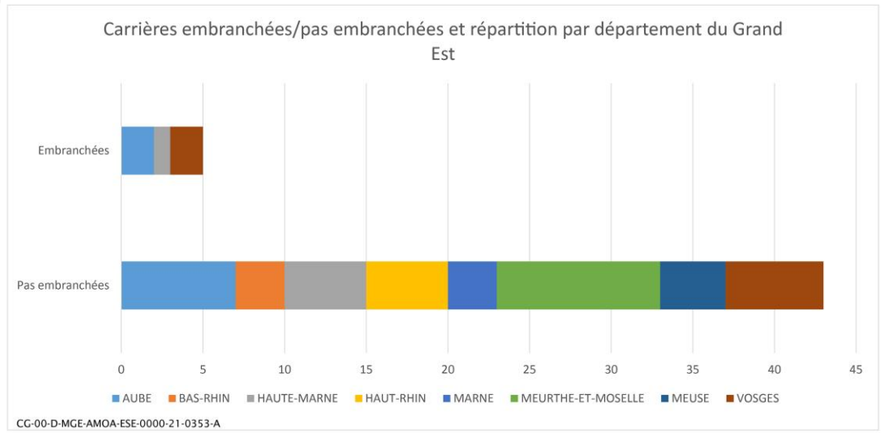


Figure 4-12 Raccordement des carrières au réseau ferré

Par ailleurs, la construction du centre de stockage Cigéo génère une très grande quantité de matériaux excavés. Pour autant que leurs caractéristiques conviennent, leur recyclage en granulats pour la fabrication de béton ou la réalisation de travaux d'infrastructures sera recherché, afin de réduire le recours à l'extraction de carrières.

4.6.2.4 Filières d'approvisionnement en ciment

Le ciment est un matériau qui entre dans la composition des bétons et des mortiers. Il est fabriqué à partir de calcaire et d'argile dans des cimenteries.

La région Grand Est accueillie des cimenteries ou centres de broyage, dont la production annuelle totale s'élève à un peu moins de 3,2 millions de tonnes. Celle-ci couvre donc largement les besoins projetés pour le centre de stockage Cigéo, qui sont d'environ 180 000 tonnes l'année du pic de consommation, soit moins de 6 % de la capacité régionale. Si nécessaire, le centre pourra aussi s'approvisionner auprès de cimenteries extra-régionales (ex : Jura, Pas-de-Calais). Les cimenteries sont toutes embranchées au réseau ferré. Les graphiques ci-dessous montrent que la majeure partie de la production de ciment est localisée en Moselle à moins de 200 km du centre de stockage Cigéo. Une part notable de la production est aussi située dans la Marne et la Meurthe-et-Moselle à moins de 100 km du centre de stockage Cigéo ainsi que dans le Haut-Rhin et le Jura soit entre 200 km et 300 km du centre de stockage Cigéo.

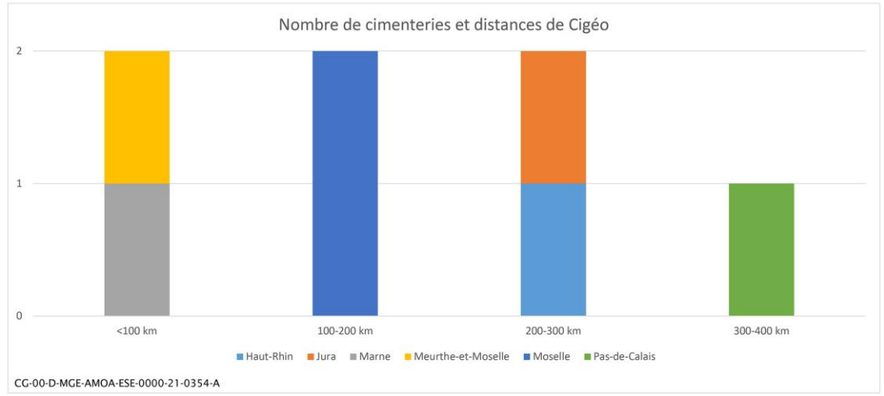


Figure 4-13 Distances entre le centre de stockage Cigéo et les potentielles cimenteries

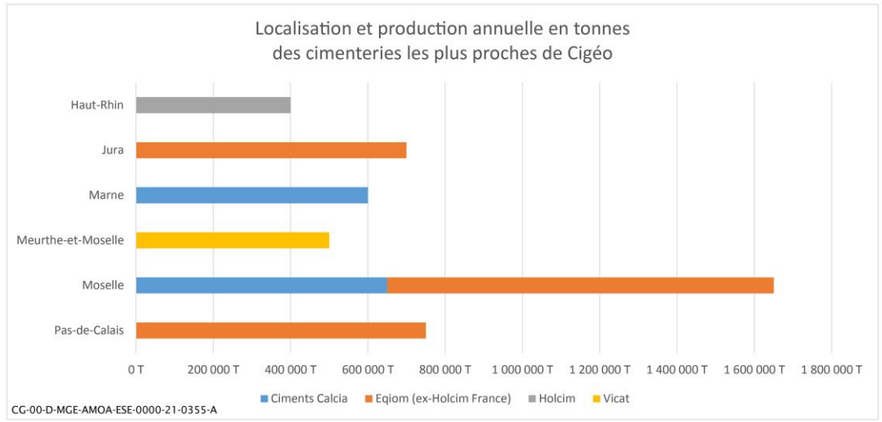


Figure 4-14 *Localisation et production annuelle des cimenteries les plus proches du centre de stockage Cigéo*

4.6.3 Mesures de réduction

4.6.3.1 Réduction des besoins de matériaux de construction

Mesure de réduction : R2.1c - réduction des besoins de matériaux de construction				
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Sous-opération(s)**	**Phase(s)**
Ressources du sous-sol	Andra	Centre de stockage Cigéo - INB	ZIOS	CI, F

Plusieurs procédés de réduction des besoins en béton sont à l'étude : dimensionnement au plus juste, structures extrudées, récupération des chutes de béton, utilisation du calcaire extrait lors du creusement des liaisons surfaces fond. Ces solutions seront affinées au cours des phases ultérieures de conception du projet. Elles seront détaillées dans les actualisations ultérieures de l'étude d'impact.

4.6.3.2 Réemploi et traitement des matériaux

Mesure de réduction : R2.1c - réemploi et traitement des matériaux				
Facteur(s) environnemental(aux)	**MOA(s)**	**Opération(s)**	**Sous-opération(s)**	**Phase(s)**
Ressources du sous-sol	Andra	Centre de stockage Cigéo	ZIOS, ZP, ZD	CI, F

La conception intègre le réemploi et le traitement des matériaux pour limiter la consommation des ressources, que ce soit verses « vives », la terre végétale, les franges superficielles et les calcaires :

- les couches de franges superficielles et de terres végétales sont destinées aux remblais des zones de jouvence, espaces verts et couverture végétale ;
- les calcaires fracturés extraits (calcaires du Barrois) sont utilisés en corps de remblais sur les zones de remblais destinées aux bâtiments et voiries. Ces matériaux sont utilisables en l'état. Ils sont concassés si nécessaire afin d'obtenir une granulométrie suffisante ;
- les verses dites « vives », correspondant à environ 40 % du volume total de Callovo-Oxfordien excavé, servent, après leur traitement, de matériau de remblai pour l'obturation et la fermeture définitive des alvéoles de stockage, des galeries de l'installation souterraine, des zones de soutien logistique, des quartiers de stockage puis des liaisons surface-fond, à l'issue du fonctionnement du centre de stockage Cigéo.

Sous réserve du respect des formulations, l'utilisation de matériaux de recyclage peut être envisagée essentiellement pour les ouvrages du centre de stockage Cigéo les moins sensibles en termes de sécurité.

Par ailleurs, plusieurs pistes de valorisation sont envisagées pour les verses (argilites du Callovo-Oxfordien) qui ne sont pas réutilisées pour la fermeture des galeries, notamment leur utilisation par des cimentiers, ce qui contribue également à limiter la pression sur la ressource naturelle au niveau départemental, voire régional et le comblement de carrières (cf. Mesure de réduction « Valorisation des verses et déploiement progressif de la surface de stockage » présentée au chapitre 3.3.2.4 du présent volume).

Modalités de suivi

Un suivi des quantités de matériaux importés et réutilisés est réalisé de la conception jusqu'à la fermeture.

4.6.4 Incidences résiduelles

Aucune ressource de matériaux de construction, minerai, charbon et hydrocarbures n'est exploitée dans la zone d'intervention potentielle du projet global Cigéo. Par contre, le projet global Cigéo et notamment la construction de l'installation souterraine nécessite des quantités importantes de matériaux de construction. Ce besoin, qui s'étale pendant les phases de construction initiale et de fonctionnement, soit pendant plus d'un siècle, est compatible avec les schémas départementaux des carrières de la Meuse et de la Haute-Marne (cf. Chapitre 4.6.5 du présent volume). **L'impact du projet global Cigéo, et notamment de l'INB, sur les ressources du sous-sol est donc faible.**

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle faible sur les ressources du sous-sol.

Aucune mesure compensatoire n'est nécessaire.

4.6.5 Compatibilité avec le schéma régional des carrières

En raison de son caractère industriel et nucléaire, la construction du projet global Cigéo nécessite la mise en œuvre de quantités importantes de matériaux (granulats, ciment, sables) et des formulations de béton très particulières pour certains ouvrages de surface, mais aussi pour les galeries qui serviront au stockage des déchets radioactifs.

Ces besoins en matériaux de construction doivent être compatibles avec le schéma régional des carrières de la région Grand Est approuvé par arrêté préfectoral en date du 27 novembre 2024[8] (28) et présenté au chapitre 4.5.2 du volume III de la présente étude d'impact.

Le tome 3 « Prospective des besoins et scénarii d'approvisionnement » du SRC porte une analyse sur les besoins et les scénarios d'approvisionnement. À partir de l'état des lieux de la production et de l'approvisionnement en matériaux granulaires pour le BTP de la région Grand Est, il présente une projection estimative de la situation, à l'horizon 2034 (12 ans), du besoin et de la production de matériaux et propose des scénarii d'approvisionnement, les compare pour aboutir au choix d'un scénario final.

Le scénario d'approvisionnement de référence B2 avec une consommation de référence faible et privilégiant les préoccupations économiques et environnementales a été retenu car résultant du « meilleur compromis » entre les enjeux environnementaux et socio-économiques.

Les besoins en ressources primaires pour le projet global Cigéo (présentés au chapitre 4.6.2.2 du présent volume) ont été pris en compte dans le choix du scénario de référence B2 à hauteur de :

- 700 000 tonnes/an répartis de façon homogène sur quatre les bassins d'approvisionnement à proximité, à savoir « Barrois », « Vitry-Saint-Dizier », « Chaumont » et « Ouest Vosgien », soit environ 5,6 millions de tonnes sur la durée du SRC ; ils disposent de ressources en sables et graviers répondant aux usages attendus ;

[8] Cet arrêté abroge les schémas départementaux des carrières de la Meuse de 2014 (26) et de la Haute-Marne de 2003 (27).

- 45 000 tonnes de ballasts (15 000 tonnes/an) en provenance du bassin de consommation d'Epinal, ainsi que les matériaux nécessaires à la reconstruction de la dizaine d'ouvrages d'art sur la période 2029-2031, liés à la modernisation de la ligne 027000 « Nançois-Tronville- Gondrecourt-le-Château », non pris en compte en tant que chantier exceptionnel mais au titre de la consommation courante.

Les objectifs, orientations, recommandations et mesures permettant de répondre à la réalisation du scénario de référence B2 du SRC sont présentés dans le tome 4.

Le SRC Grand Est définit trois grands objectifs

- objectif n° 1 : Sécuriser l'approvisionnement durable des territoires ;
- objectif n° 2 : Préserver le patrimoine environnemental du territoire ;
- objectif n° 3 : Connaître et suivre la mise en œuvre du SRC pour une meilleure prise en compte de ses orientations.

L'atteinte des trois objectifs du SRC Grand Est passe par la prise en compte de ses dispositions prenant la forme de recommandations (disposition d'intention générale) ou de mesures (disposition prescriptive précise) organisées à travers 15 orientations (familles d'actions permettant d'atteindre l'objectif).

Ces dispositions s'adressent selon leur contenu :

- aux professionnels de l'extraction et aux cabinets d'études qui les accompagnent dans leurs choix, en termes de besoin, d'implantation, d'exploitation et de remise en état des carrières, en région Grand Est ;
- aux services de l'état en charge de l'instruction des dossiers d'autorisation environnementales qui conformément à de l'article L. 515-3 du code de l'environnement doivent s'assurer que les autorisations d'exploitations de carrières délivrées sont compatibles avec le SRC, ou aux services de l'État impliqués en tant que maîtres d'ouvrages ou compétents en matière d'urbanisme, de construction durable etc. ;
- aux collectivités territoriales, aux organismes en charge de la planification territoriale ainsi qu'aux services de l'État en charge de suivre et de contrôler l'élaboration et la révision des documents d'urbanisme qui conformément aux articles L. 131-1 et L. 131-6 sont compatibles avec le SRC Grand Est ;
- aux gestionnaires des réseaux de transport ferroviaire et fluvial ;
- également aux producteurs et grands consommateurs de ressources minérales (maître d'ouvrage publics privés, industrie utilisant de la ressource minérale) pour l'atteinte des objectifs relatifs à l'économie circulaire.

En tant que grand consommateur de ressources minérales, certaines dispositions sont applicables au projet global Cigéo. Les tableaux ci-après présentent les modalités de prise en compte de ces différentes dispositions.

Tableau 4-3 Modalités de prise en compte par le projet global Cigéo des dispositions du SRC Grand Est

Disposition du SRC Grand Est (recommandation ou mesure)	Modalités de prise en compte par le projet global Cigéo
OBJECTIF N° 1 – SÉCURISER L'APPROVISIONNEMENT DURABLE DES TERRITOIRES	
O1.3.2 - Gérer durablement la ressource alluvionnaire L'objectif du SRC est de préserver la ressource alluvionnaire et donc de réserver son utilisation à des usages « nobles » et pour lesquels la substitution par d'autres matériaux est inadaptée, dans des conditions technico-économiques acceptables. Les granulats alluvionnaires constituent un matériau privilégié dans la confection du béton et peuvent servir à la construction d'ouvrages d'art ou de routes.	
R8 - Réflexion sur la destination des matériaux alluvionnaires Les pétitionnaires sont appelés à repenser la destination de leurs matériaux alluvionnaires pour les réserver à un usage qui exige leur emploi.	Au sein du projet global Cigéo, le centre de stockage Cigéo, et surtout l'installation souterraine, est le principal poste de consommation de matériaux de construction. Les granulats (sables et graviers) sont utilisés dans la fabrication du béton servant à la construction des bâtiments et des ouvrages de génie civil. Ils sont également employés dans la réalisation de remblais, fondations, couches routières, etc. Le béton nécessaire pour la construction des galeries de stockage des déchets radioactifs fait l'objet de préconisations de formulations qui doivent être strictement respectées afin d'obtenir des bétons aux performances adaptées à la durée de vie et au vieillissement dans les locaux potentiellement soumis aux rayonnements ionisants, aux températures importantes… Plusieurs procédés de réduction des besoins en béton sont à l'étude : dimensionnement au plus juste, structures extrudées, récupération des chutes de béton. Par ailleurs, la construction du centre de stockage Cigéo génère une très grande quantité de matériaux excavés. Pour autant que leurs caractéristiques conviennent, leur recyclage en granulats pour la fabrication de béton ou la réalisation de travaux d'infrastructures sera recherché, afin de réduire le recours à l'extraction de carrières. Sous réserve du respect des formulations, l'utilisation de matériaux de recyclage peut être envisagée essentiellement pour les ouvrages du projet du centre de stockage les moins sensibles en termes de sécurité.
M9 - Priorisation de l'usage des matériaux alluvionnaires vers le secteur du béton Les productions des futures carrières d'alluvions des lits majeurs et des terrasses doivent être orientées prioritairement vers le secteur du béton hydraulique et bitumineux. Lorsque d'autres usages sont envisagés, le pétitionnaire justifiera techniquement l'adéquation ressource-usage dans son dossier de demande d'autorisation.	
M10 - Conditions de commercialisation des alluvions n'ayant fait l'objet d'aucun traitement La commercialisation de sables et graviers bruts ou « tout-venant brut », c'est-à-dire la commercialisation d'alluvions n'ayant fait l'objet d'aucun traitement (criblage, concassage, et lavage), n'est pas autorisée sauf à en justifier la nécessité pour un projet particulier ou la moindre qualité d'une partie du gisement découvert (poches d'altération par exemple).	
O1.3.4 - Optimiser la valorisation des ressources secondaires en vue d'améliorer la hiérarchie des modes de traitement Les ressources secondaires mobilisées dans l'état des lieux représentent 18 % de la consommation en région. L'utilisation de matériaux secondaires est un moyen accessible de réduire la consommation en matières premières naturelles. Les secteurs du bâtiment et des travaux publics génèrent des déchets facilement utilisables et valorisables, leurs potentialités sont à qualifier et à quantifier pour en optimiser l'utilisation. Le scénario retenu prévoit d'atteindre les 21 % à l'horizon 2034. Favoriser le recours aux ressources secondaires ne pourra se faire que si ces dernières sont disponibles localement (autour de 30 km pour des granulats primaires, 10/20 km prévus dans le cadre de la nouvelle filière REP), ce qui nécessite de développer l'activité de recyclage-valorisation de déchets.	

Disposition du SRC Grand Est (recommandation ou mesure)	Modalités de prise en compte par le projet global Cigéo
M15 - Insertion d'une clause environnementale dans les cahiers des charges Afin d'améliorer la captation et le tri des déchets inertes en amont, les maîtres d'ouvrage de chantiers du BTP doivent prévoir, dans leurs cahiers des charges, et de manière systématique, une clause environnementale précisant le devenir des déchets de chantiers (réemploi sur chantier, acheminement vers des plates-formes de recyclage, valorisation en comblement de carrière...).	En phase de construction initiale, les déchets inertes représentent environ 90 % du tonnage (déchets de béton, dépose des voussoirs liés à la création de carrures (intersections entre deux galeries) lors du creusement du souterrain. En phase de fonctionnement, le volume des verses dites « mortes », correspondant à l'argilite du Callovo-Oxfordien excavée lors des travaux de creusement non réutilisé pour l'obturation des galeries de stockage des déchets à l'issue de la phase de fonctionnement, est estimé à 60 % du volume total des verses de 11 millions de m^3. Les autres déchets de la phase de fonctionnement sont majoritairement des déchets inertes. Ils proviennent principalement de la dépose des voussoirs liés à la création de carrures (intersections entre deux galeries) lors du déploiement des ouvrages souterrains. L'Andra poursuit les réflexions visant à réduire la production des déchets tout au long de la conception et cette priorité est indiquée dans les cahiers des charges des entreprises. La réduction du volume de déchets à la source est également une priorité pour les maîtres d'ouvrage des autres opérations du projet global Cigéo. Des règles de tri, selon la nature des déchets, sont établies et une différenciation visuelle des moyens de collecte permet de faciliter leur séparation.
R11 - Valorisation des déchets recyclables par des filières adaptées Les déchets présentant un potentiel de recyclage, comme les bétons de démolition, fraisât d'enrobés et ballasts de voie, doivent être orientés préférentiellement vers des filières de recyclage, conformément aux dispositions du SRADDET (29) sur la hiérarchisation des modes de traitement.	En fonction de la nature et des gisements des déchets produits, le réemploi et la valorisation des déchets sont recherchés en priorité lorsqu'ils sont possibles et viables, du point de vue technique, environnemental (centre de valorisation à une distance acceptable du site) et économique. L'Andra et les maîtres d'ouvrage des autres opérations mettent en œuvre, des solutions de gestion visant à privilégier le réemploi et la valorisation notamment des verses et des déchets inertes, en prenant en compte l'évolution des filières en particulier localement et des technologies. Plusieurs pistes de valorisation sont envisagées pour les verses (argilites du Callovo-Oxfordien) qui ne sont pas réutilisées pour la fermeture des galeries, notamment leur utilisation par des cimentiers et pour combler les carrières[9] , ce qui contribue également à limiter la pression sur la ressource naturelle au niveau régional. D'autres pistes prospectives sont également étudiées comme leur valorisation dans le cadre de travaux routiers ainsi que leur utilisation pour la fabrication de briques et de céramiques. L'ensemble de ces dispositions sera inscrit dans les cahiers des charges (CCTP) des entreprises.

[9] Le principe de comblement de carrières avec les argilites du Callovo-Oxfordien est intégré dans le Tome 3 du schéma régional des carrières Grand-Est (cf. Chapitre 1.4.3.2 Chantier relatif au projet Cigéo). Il précise que ce principe ne remet pas en question la règle 14 du SRADDET (reprise par le SRC dans son orientation O.1.3.5/R2) qui vise à optimiser la hiérarchie des modes de traitement en détournant du remblayage de carrière un million de tonnes de déchets valorisables.

Disposition du SRC Grand Est (recommandation ou mesure)	Modalités de prise en compte par le projet global Cigéo
O1.3.5 Contribuer aux objectifs du plan régional de prévention et de gestion des déchets (figurant en annexe du SRADDET) Le PRPGD intégré dans le SRADDET Grand Est fixe les objectifs suivants en matière de gestion des déchets inertes et de réemploi : • atteindre une valorisation matière des déchets du BTP de 70 % en 2020, 78 % en 2025 et 79 % en 2031 ; • réduire de 11 % la production des déchets inertes sur la période 2016-2031 ; • atteindre une valorisation matière de déchets inertes à 79 % en 2025 et 80 % en 2031 ; • réorienter 1 Mt de déchets inertes vers les filières du recyclage et de la réutilisation plutôt que celles du remblai de carrière et du stockage en Installations de stockage de déchets inertes (ISDI) ; • réemployer 16 % des matériaux sur les chantiers ; • réduire de 50 % à l'horizon 2025 les quantités de déchets mis en décharge.	
R12 - Objectifs de recyclage Les professionnels et les donneurs d'ordre sont incités à développer l'emploi de matériaux recyclés en substitution de matériaux de carrières et à tendre vers les objectifs suivants, à l'horizon 2034 : • atteindre 40 % de réemploi direct et 85 % de recyclage des matériaux ; • stocker au maximum 10 % des déchets inertes en ISDI ; • réduire d'1 Mt la quantité de déchets inertes utilisée pour le remblayage de carrières.	Cf. Modalités mises en œuvre dans le cadre de l'orientation O1.3.4 - **Optimiser la valorisation des ressources secondaires en vue d'améliorer la hiérarchie des modes de traitement** (ci-dessus)
O1.4.3 - Privilégier les transports routiers économes en énergie et rejets	
R14 - Insertion du volet transport dans les cahiers des charges Les maîtres d'ouvrages sont invités à considérer dans le cadre de leurs chantiers, et plus particulièrement dans leurs cahiers des charges (CCTP), le volet transport des matériaux de construction, afin de privilégier des approvisionnements de proximité et/ou ceux qui minimisent l'impact carbone de l'offre soit par l'usage du double fret ou l'utilisation d'énergies alternatives ou encore de mode de transport alternatif à la route, si l'offre de celle-ci permet de répondre à la demande. La réflexion doit être étendue à l'origine effective des matériaux et aux éventuels circuits de fabrication et ne doit pas être uniquement circonscrite aux dépôts.	L'approvisionnement des matériaux et matériels pour la construction du centre de stockage sera effectué majoritairement par fret ferroviaire. C'est dans cet objectif que l'Andra a retenu la création sur la zone descenderie d'un terminal permettant la réception du fret conventionnel. Le fret ferroviaire n'est pas envisageable pour l'ensemble des matériaux. En effet, le fait de recourir au maximum à un approvisionnement local dans le but de minimiser les distances, couplé au fait que les besoins des matériaux ne représentent pas toujours des grands volumes anticipables, rend le fret ferroviaire pertinent uniquement pour certains matériaux. Le fret ferroviaire est envisageable principalement pour des matériaux comme les graviers, le ciment, et éventuellement d'autres éléments préfabriqués. Les volumes pour ces matériaux étant importants, le recours au fret ferroviaire en substitution du fret routier pour ces matériaux constitue une mesure de réduction notable en termes d'émissions de gaz à effet de serre. L'ensemble de ces dispositions sera inscrit dans les cahiers des charges (CCTP) des entreprises
O1.5.2 - Maintenir et développer les infrastructures permettant le transport des matériaux par le rail et par la voie d'eau	

Disposition du SRC Grand Est (recommandation ou mesure)	Modalités de prise en compte par le projet global Cigéo
R17 - Mise en service des installations terminales embranchées La remise en service des installations terminales embranchées (ITE) existantes par les porteurs de projet est encouragée, dès que les conditions technico-économiques le permettent, afin de contribuer à l'accroissement du report modal du transport de matériaux de carrières vers le réseau ferré.	Cf. Modalités mises en œuvre dans le cadre de l'orientation O1..3 - **Privilégier les transports routiers économes en énergie et rejets** (ci-dessus). La ligne ferroviaire 027000 relie l'ITE du centre de stockage Cigéo à la ligne Paris-Strasbourg. La ligne ferroviaire 027000 était utilisée pour le transport de fret de la gare de Nançois-Tronville jusqu'à Gondrecourt-le-Château. Elle est intégralement fermée depuis décembre 2019. La remis en service de la ligne 027000 permettra l'acheminement des colis de déchets radioactifs depuis les sites des producteurs, ainsi que l'acheminement des matériaux de construction au plus tôt pour alimenter les chantiers durant les différentes phases travaux de déploiement du centre de stockage Cigéo.
OBJECTIF N° 2 – PRÉSERVER LE PATRIMOINE ENVIRONNEMENTAL DU TERRITOIRE	
Pas de disposition concernant le projet global Cigéo.	Sans objet
OBJECTIF N° 3 – CONNAÎTRE ET SUIVRE LA MISE EN ŒUVRE DU SRC POUR UNE MEILLEURE PRISE EN COMPTE DE SES ORIENTATIONS	
Pas de disposition concernant le projet global Cigéo.	Sans objet

Pour limiter la demande sur la ressource naturelle, l'utilisation de matériaux de recyclage est privilégiée pour les aménagements et les constructions, sous réserve du respect de la performance des matériaux et du béton. La valorisation des verses (réutilisation pour fermeture des galeries, comblement de carrières, utilisation comme composant de base dans la fabrication de ciments) contribue également à limiter la demande globale sur la ressource naturelle. Ainsi, **le projet global Cigéo est compatible avec le schéma régional des carrières de la région Grand Est** (28)**.**

4.7 Synthèse des incidences et mesures sur le sous-sol

Le tableau 4-4 synthétise les mesures mises en œuvre afin de limiter les impacts sur le sous-sol.

Tableau 4-4 Synthèse des mesures mises en œuvre pour le sous-sol dans le cadre du projet global Cigéo

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effet attendu de la mesure	Modalités de suivi	MOA	Opération
Pollution accidentelle physico-chimique	**Pollution physico-chimique : Niveau d'incidences potentielles : Notable**						
	R2.1d - mise en place de dispositifs de stockage adaptés pour les produits dangereux	R	APR, CI, F	Éviter la propagation de produits dangereux	Suivi des modalités de travaux Entretien et maintenance des dispositifs	Andra	Centre de stockage Cigéo
						SNCF	Mise à niveau de la ligne 027000
						CD 52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
	R2.1z - organisation globale du chantier	R	APR, CI, F	Éviter la propagation de produits dangereux et veiller à la non-pollution du sous-sol	Suivi des modalités de travaux. Entretien et maintenance des dispositifs. Suivi par le chargé environnement. Registre de suivi des accidents et des pollutions accidentelles.	Andra	Centre de stockage Cigéo
						SNCF	Mise à niveau de la ligne 027000
						CD 52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
	R2.2z - gestion des effluents conventionnels	R	APR, CI, F	Limiter les risques de pollution suite aux déversements accidentels ou à l'infiltration des eaux de ruissellement	Suivi des modalités de travaux. Contrôle de la performance des dispositifs quantitatifs/qualitatifs de gestion des eaux pluviales. Entretien et maintenance des dispositifs de gestion des eaux.	Andra	Centre de stockage Cigéo
						SNCF	Mise à niveau de la ligne 027000
						CD 52	Déviation de la route départementale D60/960
						RTE	Alimentation électrique
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
	R2.2q - mise en place d'un dispositif de traitement complémentaire des eaux de ruissellement des verses	R	CI, F	Réduire l'altération de la qualité des eaux superficielles	Suivi de la qualité des eaux de ruissellement des verses issues du traitement complémentaire. Entretien et maintenance des dispositifs.	Andra	Centre de stockage Cigéo

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effet attendu de la mesure	Modalités de suivi	MOA	Opération
Contamination potentielle radiologique et chimique du sous-sol par les colis de déchets	**R2.1z - mise en place d'un dispositif de traitement des eaux de fond par zone : objectif d'un rejet conforme au bon état chimique et écologique des eaux superficielles**	R	CI, F	Réduire l'altération de la qualité des eaux superficielles, et donc le risque de pollution du sous-sol par infiltration	Suivi de la qualité des eaux recyclées issues des stations d'épuration. Entretien et maintenance des dispositifs.	Andra	Centre de stockage Cigéo
	R2.2z - mise en place d'une gestion des eaux industrielles et des eaux usées selon les principes de l'assainissement collectif (et non collectif pour les eaux usées durant la phase d'aménagements préalables) :	R	CI, F	Réduire l'altération de la qualité des eaux superficielles	Suivi de la qualité des eaux recyclées issues des dispositifs de traitement des eaux de fond. Entretien et maintenance des dispositifs.	Andra	Centre de stockage Cigéo
	R2.1d - mise en place de dispositifs de traitement des rejets des eaux pluviales pour ne pas altérer la qualité des eaux superficielles et des eaux souterraines par transfert	R	APR, CI, F	Réduire l'altération de la qualité des eaux superficielles	Suivi des modalités de travaux. Contrôle de la performance des dispositifs de traitement des eaux usées.	RTE	Alimentation électrique
						Andra	Centre de stockage Cigéo
						SIAEP d'Échenay/SIVU du Haut-Ornain	Adduction d'eau
						SNCF Réseau	Mise à niveau de la ligne 027000
						CD52	Déviation de la route départementale D60/960
	Pollution physico-chimique : Niveau d'incidences résiduelles : Très faible						
	Contamination radiologique : Niveau d'incidences potentielles : Notable						
	R2.2z - conditionnement définitif des déchets radioactifs	R	F	Ralentir la migration des radionucléides	Le respect des spécifications d'acceptation est garanti par un processus d'approbation et d'acceptation des colis incluant des contrôles par les producteurs de déchets et par l'Andra	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB
	R2.2z - conception de l'installation souterraine garantissant le maintien des caractéristiques du Cox favorables au confinement	R	F	Ralentir la migration des radionucléides	Instruments de mesure au sein d'un échantillonnage d'alvéoles, permettant un suivi continu des différents paramètres	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB
	R2.1z - séparation des opérations de stockage des déchets et de creusement de nouveaux alvéoles	R	F	Maîtriser les risques de coactivité et donc le risque de contamination radiologique du sous-sol	Suivi du phasage des travaux de l'installation souterraine	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB
	R1.2b - définition d'un périmètre de droit exclusif et d'un périmètre de protection	R	F	Empêcher toute activité susceptible de remettre en cause la pérennité du stockage souterrain ou d'affecter son intégrité	Suivi des activités dans le périmètre de droit exclusif et dans le périmètre de protection	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB
	Contamination radiologique : Niveau d'incidences résiduelles : Très faible						
Vulnérabilité aux risques sismiques d'origine naturelle et anthropique	**Vulnérabilité du projet aux risques sismiques d'origine naturelle ou anthropique : Niveau d'incidences potentielles : Notable**						
	E2.2f - implantation du stockage dans une zone géologique d'activité sismique très faible	E	APR, CI, F	Évitement des désordres liés au risque sismique	Réseau d'écoute sismique mis en place par l'Andra	Andra	Centre de stockage Cigéo

Incidences potentielles	Mesures	Type (ERC)	Phase (APR, CI, F)	Effet attendu de la mesure	Modalités de suivi	MOA	Opération
	R2.2z - conception et exploitation conformes aux règles spécifiques applicables aux installations nucléaires	R	APR, CI, F	Maintien des installations dans un état dit « sûr » en cas de séisme. Absence de conséquence sur l'homme et l'environnement.	Contrôle à la réception de chaque installation de surface et veille pendant toute la phase de fonctionnement, notamment en cas de séisme	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Vulnérabilité du projet aux risques sismiques d'origine naturelle ou anthropique : Niveau d'incidences résiduelles : Très faible						
Vulnérabilité du projet aux risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et tassements	**Vulnérabilité du projet aux risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et tassements : Niveau d'incidences potentielles : Notable**						
	R2.2z - choix de l'orientation des alvéoles de stockage	R	CI, F	Limiter l'endommagement du Cox au pourtour des galeries creusées	Mesure permanente des modifications structurelles du sous-terrain afin de surveiller la couche du Callovo-Oxfordien et l'installation souterraine	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB
	R2.1z - adaptation des méthodes de creusement	R	CI, F	Réduction du risque d'effondrement des cavités	Mesure permanente des forces appliquées sur l'installation souterraine et les liaisons surface-fond dès la phase de construction initiale	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB
	R2.1b - adaptation des méthodes de construction des installations de surface	R	CI, F	Réduction du risque de mouvements de terrain	Contrôle à la réception de chaque installation de surface et veille pendant toute la phase de fonctionnement	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB
	« R2.1d : dispositions constructives adaptées pour le creusement des forages/piézomètres »	R	APR, CI, F	Prendre en compte le contexte karstique	Suivi des modalités de travaux.	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Vulnérabilité du projet aux risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et tassements : Niveau d'incidences résiduelles : Très faible						
Ressources du sous-sol	**Incidences sur les ressources du sous-sol : Niveau d'incidences potentielles : Notable**						
	E2.2b - choix d'implantation du centre de stockage Cigéo dans une zone ne présentant pas un caractère exceptionnel ou particulier en termes de ressources souterraines	E	CI, F	Ne pas priver les populations d'une ressource locale de grande importance	Sans objet	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB
	E4.1z - déploiement progressif de l'installation souterraine	E	CI, F	Éviter les creusements inutiles	Suivi de l'enchaînement des opérations de construction et de mises en service successives des parties du centre de stockage sur toute la durée de son fonctionnement	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB
	R2.1c - réduction des besoins de matériaux de construction	R	CI, F	Réduction du prélèvement des ressources naturelles	Suivi des quantités de matériaux importés et réutilisés de la conception jusqu'à la fermeture	Andra	Centre de stockage Cigéo – INB
	R2.1c - réemploi et traitement des matériaux	R	CI, F	Réduction du prélèvement des ressources naturelles	Suivi des quantités de matériaux importés et réutilisés de la conception jusqu'à la fermeture	Andra	Centre de stockage Cigéo
	Incidences sur les ressources du sous-sol : Niveau d'incidences résiduelles : Faible						

*Type de mesure : **E** : évitement ; **R** : réduction ; **C** : compensation : **A** : accompagnement.*
*Phase : **APR** : aménagements préalables ; **CI** : construction initiale ; **F** : fonctionnement.*

Au sein du projet global Cigéo, c'est essentiellement le centre de stockage Cigéo qui peut potentiellement impacter le sous-sol puisqu'il est constitué autour d'une installation souterraine creusée à 500 mètres sous terre (contamination potentielle par les radionucléides toxiques chimiques contenus dans les colis de déchets). Les autres installations et opérations du projet global Cigéo sont susceptibles d'avoir des effets uniquement sur les quelques mètres du sol, puis du sous-sol les plus proches de la surface (pollution accidentelle physico-chimique).

En raison de son caractère industriel et nucléaire, la construction du projet global Cigéo nécessite l'exploitation des ressources du sous-sol et l'utilisation de quantités importante de matériaux (ballasts, granulats, ciment, sables).

D'autre part, les installations du projet global Cigéo peuvent être soumises aux risques de mouvements de terrain (retrait-gonflement des argiles, cavités et tassements) et aux risques sismiques.

- **Pollution accidentelle physico-chimique**

  Au cours **des trois phases (APR, CI et F)**, le principal risque de pollution du sous-sol concerne une contamination accidentelle liée aux engins de chantiers et au ruissellement sur les terrains à nu qui pourrait atteindre les couches géologiques à l'affleurement. Ce risque est minime et l'incidence de l'ensemble des travaux sur le sous-sol est très faible.

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle très faible sur le sous-sol.

- **Contamination potentielle radiologique et chimique du sous-sol par les colis de déchets**

  Au cours de **la phase de fonctionnement**, le stockage des colis de déchets se fait dans la couche de roche dure argileuse du Callovo-Oxfordien qui s'est déposée il y a environ 160 millions d'années et qui est située à environ 500 m de profondeur. Par conséquent, le stockage est protégé vis-à-vis des activités humaines et des événements naturels en surface sur le très long terme.

  Le choix de ce secteur d'implantation a été le résultat de plusieurs décennies de recherches pour garantir la pérennité du stockage. Le projet global Cigéo se situe en partie orientale du Bassin parisien qui constitue l'une des zones géologiques les plus stables du monde. La construction progressive du centre de stockage Cigéo correspond à un enchaînement prudent d'opérations de construction et de mises en service successives de parties du centre de stockage sur toute la durée de son fonctionnement.

  La couche du Callovo-Oxfordien est principalement composée d'« *argiles* », d'où sa dénomination commune d'« *argilites* ». L'ensemble des expériences menées sur cette roche ont démontré qu'elle dispose des propriétés nécessaires pour le confinement des déchets radioactifs :

  - ✓ la couche du Callovo-Oxfordien a une perméabilité très faible, les circulations d'eau sont très limitées : une molécule d'eau parcourt quelques centimètres en 100 000 ans ;
  - ✓ de par cette très faible perméabilité, les éléments radioactifs se déplacent préférentiellement par diffusion dans la roche et cette diffusion est très lente ;
  - ✓ les argilites du Callovo-Oxfordien possèdent de fortes capacités de rétention pour la majeure partie des éléments radioactifs et contiennent une part importante de minéraux argileux qui fixent ces éléments à leur surface ;
  - ✓ la composition chimique de l'eau dans la roche conduit à une très faible solubilité de la majeure partie des éléments radioactifs.

  Les alvéoles de stockage et les ouvrages souterrains de Cigéo seront implantés en milieu de couche, afin de bénéficier d'une teneur en argile maximale et d'une épaisseur importante et équivalente du sommet à la base.

  La sûreté à long terme est assurée de façon passive, c'est-à-dire que la santé de l'homme et de l'environnement est protégée des éléments radioactifs et des substances chimiques toxiques contenus dans les déchets radioactifs, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir.

  La protection de l'homme et de l'environnement à long terme repose sur la couche du Callovo-Oxfordien, qui joue un rôle central de cette protection, complétée par des dispositions constructives comme les scellements des ouvrages et les conditionnements des déchets.

  Le centre de stockage Cigéo accepte uniquement des colis primaires de déchets respectant l'ensemble des critères définis dans les spécifications d'acceptation. Ces critères permettent de garantir la sûreté du stockage des colis de déchets. Notamment, le conditionnement des déchets radioactifs à destination du centre de stockage Cigéo consiste à les immobiliser sous une forme non dispersable dans un conteneur (fût métallique, coque béton…). La conception de l'installation souterraine permet de garantir le maintien des caractéristiques du Callovo-Oxfordien : les alvéoles sont conçus afin de limiter au maximum tout risque d'effondrement pendant le creusement et en phase de fonctionnement, ou encore de limiter la migration des radionucléides après la fermeture du site. Enfin, les opérations de stockage des déchets et de creusement de nouvelles alvéoles sont séparées géographiquement au cours de la phase fonctionnement.

  Un périmètre de protection prévu par l'article L. 542-10-1 de code de l'environnement est défini. Il a pour objectif de protéger les installations et activités du centre de stockage Cigéo des effets d'activités ou de travaux menés par des tiers en surface ou en souterrain.

  La sûreté est assurée de façon passive, c'est-à-dire que l'homme et l'environnement sont protégés des éléments radioactifs et des substances chimiques toxiques contenus dans les déchets radioactifs, sans qu'il soit nécessaire d'intervenir.

  À titre illustratif, sur les 144 radionucléides contenus dans les colis de déchets HA et MA-VL, seuls l'iode 129 (^{129}I), le chlore 36 (^{36}Cl) et sélénium 79 (^{79}Se), non retenus par l'argile, migreront sous forme de solutés de manière très lente et limitée (par diffusion) dans la couche du Callovo-Oxfordien.

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle très faible sur l'Homme et l'environnement.

- **Vulnérabilité aux risques sismiques d'origine naturelle et anthropique**

  Le choix du secteur d'implantation du centre de stockage Cigéo a été le résultat de plusieurs décennies de recherches pour garantir la sûreté à long terme du stockage. C'est un long processus décisionnel qui a permis de choisir, dans un premier temps, le stockage dans les argiles, puis, dans un second temps, de préciser la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) dans une zone géologique d'activité sismique très faible, et dont le contexte sismotectonique qui domine actuellement sur la région doit se poursuivre sur le prochain million d'années.

  Le centre de stockage Cigéo est construit, conçu et exploité, conformément aux règles spécifiques applicables aux installations nucléaires, de sorte qu'en cas de séisme, les installations soient maintenues dans un état dit « sûr » et que ce phénomène n'entraîne pas de conséquence sur l'Homme et l'environnement.

La vulnérabilité du projet global Cigéo au risque sismique est très faible.

- **Vulnérabilité aux risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et de tassements**

  Parmi les risques naturels inventoriés, le risque de retrait-gonflement des argiles constitue le principal risque naturel identifié au droit du projet global Cigéo. Certains secteurs du projet sont soumis à un aléa faible, comme en zone puits, et ponctuellement dans la vallée de l'Orge au droit de la nouvelle plateforme de l'ITE. D'autres secteurs sont soumis à un aléa modéré : la ligne ferroviaire 027000. Certaines portions de ligne électrique à renforcer traversent des zones d'aléa fort à très fort, notamment en Champagne humide.

  Concernant le risque d'effondrement de cavités, la karstification des Calcaires du Barrois qui affleurent autour du centre de stockage est diffuse. Les zones de dissolution sont donc petites. Le risque de dissolution est faible dans la zone d'intervention potentielle.

  Pour limiter les risques naturels, les méthodes de creusement sont adaptées aux caractéristiques des terrains rencontrés. De plus, grâce à la réalisation d'études géotechniques, les fondations des bâtiments et des ouvrages sont adaptées au contexte géotechnique réduisant ainsi les dommages liés aux risques naturels.

La vulnérabilité du projet global Cigéo aux risques de retrait-gonflement des argiles, de cavités et de tassements est très faible.

L'éventuel effondrement accidentel d'un ouvrage souterrain (galerie), voire de toute l'installation souterraine, aurait un effet mécanique d'extension limitée à quelques mètres, voire à la dizaine de mètres au maximum à proximité des ouvrages effondrés, et serait sans incidence perceptible en surface.

L'incidence du projet global Cigéo et notamment de l'INB, sur les risques mouvements de terrain (effondrement) est très faible.

- **Ressources du sous-sol**
  - ✓ exploitation des ressources

    Dans le cadre du choix d'un site pouvant accueillir un stockage de déchets radioactifs, les zones présentant un caractère exceptionnel ou particulier en termes de ressources souterraines ont été évitées, tel que le recommande le guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (24).

    Aucune carrière n'est exploitée dans la zone d'intervention potentielle du projet global Cigéo. Le site d'implantation du centre de stockage Cigéo ne présente pas de ressource géologique exceptionnelle ou particulière.

    Le projet global aura une incidence très faible sur l'exploitation des ressources ;
  - ✓ besoin de matériaux de construction

    C'est la construction du centre de stockage qui génère le besoin le plus important en matériaux de construction. Afin d'adapter le stockage aux orientations politiques de la France et de garantir toute la sûreté de son fonctionnement, l'installation souterraine est déployée progressivement. Cette mesure permet d'éviter les creusements inutiles.

    Les besoins en matériaux de construction peuvent, les années les plus hautes en besoins, atteindre jusqu'à 180 000 t de ciments, 720 000 t de graviers et plus de 570 000 t de sables.

    La région Grand Est accueille des cimenteries ou centres de broyage, dont la production annuelle totale s'élève à un peu moins de 3,2 millions de tonnes. Celle-ci couvre donc largement les besoins projetés pour le centre de stockage Cigéo, qui représentent moins de 6 % de la capacité régionale.

    À son pic, durant la phase de construction initiale, la consommation annuelle de sables et de graviers du centre de stockage Cigéo atteint un peu moins de 1,3 millions de tonnes, soit environ 1,5 % de la production annuelle de la région Grand Est. Les carrières de la région Grand Est sont donc susceptibles de couvrir l'ensemble des besoins en sables et graviers du centre de stockage Cigéo.

    Compte-tenu des quantités mises en jeu, l'Andra étudie la mise en œuvre de plusieurs pratiques visant à réduire ce besoin (dimensionnement au plus juste, structures extrudées, récupération des chutes de béton, utilisation du calcaire extrait lors du creusement des liaisons surfaces fond, utilisation de matériaux de recyclage, réutilisation des verses vives, valorisation des verses mortes) et sous réserve du respect des formulations spécifiques du béton ;
  - ✓ compatibilité avec le schéma régional des carrières de la région Grand Est (28)

    En raison de son caractère industriel et nucléaire, la construction du projet global Cigéo nécessite d'une part la mise en œuvre de quantités importantes de matériaux (granulats, ciment, sables) et d'autre part, des formulations de béton très particulières pour certains ouvrages de surface mais aussi pour les galeries qui serviront au stockage des déchets radioactifs. Pour limiter la demande sur la ressource naturelle, l'utilisation de matériaux de recyclage est privilégiée pour les aménagements et les constructions, sous réserve du respect de la performance des matériaux et du béton. La valorisation des verses (réutilisation pour fermeture des galeries, comblement de carrières, utilisation comme composant de base dans la fabrication de ciments) contribue également à limiter la demande globale sur la ressource naturelle. Ainsi, le projet global Cigéo est compatible avec le schéma régional des carrières de la région Grand Est.

Le projet global Cigéo a une incidence résiduelle faible sur les ressources du sous-sol.

TABLEAU DE TRAÇABILITÉ DES PRINCIPALES ÉVOLUTIONS DE L'ÉTUDE D'IMPACT

Le tableau suivant présente une synthèse des principales évolutions de l'étude d'impact, avec selon les colonnes :

- précisions sur les caractéristiques techniques : les précisions que les maîtres d'ouvrage apportent aux caractéristiques détaillées des opérations composant le projet global liées à des précisions ou aux évolutions de la conception notamment en lien avec les procédures de participation du public ;
- évolution de l'état initial : l'évolution de l'état initial de l'environnement en lien avec la date de dépôt de l'étude d'impact ;
- évolution réglementaire : les évolutions réglementaires ;
- précision demandée lors de l'instruction du dossier : précisions que les maîtres d'ouvrage apportent aux caractéristiques détaillées des opérations composant le projet global liées aux réponses apportées aux remarques émises par les services instructeurs lors de l'instruction de la précédente étude d'impact.

La colonne « Actualisation concernée » précise si les évolutions apportées sont liées à la première actualisation de l'étude d'impact (EI-DAC) dans le cadre de la demande de création de l'INB Cigéo et/ou sont liées à la deuxième actualisation de l'étude d'impact (EI-DR0) dans le cadre des premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale.

Chapitre EI DAC déposée		Précisions sur les caractéristiques techniques	Évolution de l'état initial	Évolution-réglementaire	Précision demandée lors de l'instruction du dossier	Actualisation concernée	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume IV de l'EI-DAC2 déposée EI-DAC1 = étude d'impact de la demande de création de l'INB Cigéo, déposée en 2023 EI-DR0 = étude d'impact des dossiers de la tranche de travaux DR0 EI-DAC2 = étude d'impact associée aux consultations réglementaires de la DAC, déposée en 2025 EI-DAC3 = étude d'impact associée à l'enquête publique de la DAC, déposée en 2026
	Général			X		EI-DAC1	Actualisation réglementaire avec le décret n° 2021-837 du 29 juin 2021 (30) portant diverses réformes en matière d'évaluation environnementale et de participation du public dans le domaine de l'environnement (remplacement du terme « état actuel » par « état initial »).
	Général (chapitres 2 à 16)	X				EI-DAC1/EI-DR0	Modification du terme « incidences réelles » employé dans l'EI-DUP en « incidences après mesures d'évitement » dans l'EI-DAC. Mise à jour à jour des mesures d'évitement et de réduction pour chacun des chapitres
	Préambule	X				EI-DAC1/EI-DR0/EI-DAC2/EI-DAC3	Actualisation du tableau des volumes de l'étude d'impact Précisions apportées dans l'EI-DAC dans la rédaction du bloc « Étude d'impact et projet global Cigéo ».
1.1.2	**Séquence éviter/réduire/compenser**	X				EI-DAC1/EI-DR0	Précisions apportées sur les éléments d'appréciation du niveau d'incidence. Explications apportées sur les mesures mères/filles
1.2.1	**Définition des mesures selon la séquence éviter/réduire/compenser les incidences**	X				EI-DAC1/EI-DR0	Précisions apportées sur la présentation des mesures ERC.
1.2.2	**Démarche d'analyse selon la séquence ERC**	X				EI-DAC1/EI-DR0	Précisions apportées sur la démarche d'analyse des incidences potentielles et sur la présentation des synthèses des mesures mises en œuvre par thématiques.

Chapitre EI DAC déposée		Précisions sur les caractéristiques techniques	Évolution de l'état initial	Évolution-réglementaire	Précision demandée lors de l'instruction du dossier	Actualisation concernée	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume IV de l'EI-DAC2 déposée EI-DAC1 = étude d'impact de la demande de création de l'INB Cigéo, déposée en 2023 EI-DR0 = étude d'impact des dossiers de la tranche de travaux DR0 EI-DAC2 = étude d'impact associée aux consultations réglementaires de la DAC, déposée en 2025 EI-DAC3 = étude d'impact associée à l'enquête publique de la DAC, déposée en 2026
2.1.2	**Mesures d'évitement et de réduction**	X				EI-DAC1	Précisions apportées à la description des mesures et leurs modalités de suivi.
2.1.3	**Incidences résiduelles**	X				EI-DAC2	Compléments apportés sur les incidences résiduelles en phase APr
2.1.4	**Synthèse des incidences et mesures sur les conditions météorologiques locales**	X				EI-DAC1	Actualisation du tableau et de l'encart de synthèse en cohérence avec le contenu du chapitre.
2.2.1	**Incidences potentielles**	X				EI-DAC1/EI-DR0	Rappel des risques majeurs et renvoi vers les autres thématiques ajoutées Précisions et justifications apportées sur les incidences potentielles sur les risques météorologiques. Formalisation de la synthèse des incidences potentielles au sein d'un tableau.
2.2.2	**Mesures d'évitement et de réduction**	X				EI-DAC1	Précisions apportées sur les mesures et leurs modalités de suivi Rajout de mesures existantes dans d'autres thématiques : maîtrise des consommations d'eau et sécurisation de la ligne RTE
2.2.4	**Synthèse des incidences et mesures vis-à-vis de la vulnérabilité au changement climatique**	X				EI-DAC1	Actualisation du tableau et de l'encart de synthèse en cohérence avec le contenu du chapitre.
2.3.1	**Incidences potentielles**	X				EI-DAC1/EI-DR0	Réorganisation des sources potentielles d'émissions de GES par phases. Présentation de l'incidence potentielle associée, formalisée au sein d'un tableau.
2.3.2	**Mesures d'évitement et de réduction**	X				EI-DAC1/EI-DR0	Regroupement des mesures d'évitement et de réduction Modification partielle du nom de certaines mesures pour être mieux adapté à leur contenu. Précisions apportées sur les modalités de mise en œuvre des mesures, leurs effets et leurs modalités de suivi. Suppression du chapitre initialement intitulé « Incidences réelles des émissions de gaz à effet de serre », et répartition de son contenu entre les nouveaux chapitres 2.3.1Incidences potentielles, 2.3.2 Mesures d'évitement et de réduction et 2.3.3 Incidences résiduelles
2.3.3	**Incidences résiduelles**	X				EI-DAC1/EI-DR0	Précisions apportées aux résultats du calcul de bilan carbone, ajout d'un tableau de répartition des émissions de GES par poste
2.3.4	**Synthèse des incidences et mesures relatives à l'énergie et aux émissions de GES**	X	X			EI-DAC1/EI-DR0	Actualisation du tableau de synthèse en cohérence avec le contenu du chapitre
2.4.1.1	**Incidences potentielles**	X				EI-DAC1	Précisions et justifications apportées sur les incidences potentielles Formalisation de la synthèse des incidences potentielles au sein d'un tableau

Chapitre EI DAC déposée		Précisions sur les caractéristiques techniques	Évolution de l'état initial	Évolution-réglementaire	Précision demandée lors de l'instruction du dossier	Actualisation concernée	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume IV de l'EI-DAC2 déposée EI-DAC1 = étude d'impact de la demande de création de l'INB Cigéo, déposée en 2023 EI-DR0 = étude d'impact des dossiers de la tranche de travaux DR0 EI-DAC2 = étude d'impact associée aux consultations réglementaires de la DAC, déposée en 2025 EI-DAC3 = étude d'impact associée à l'enquête publique de la DAC, déposée en 2026
2.4.1.2	**Mesures d'évitement et de réduction**	X				EI-DAC1/EI-DR0	Précisions apportées sur les modalités de suivi des mesures Ajout de la mesure d'évitement « Réutilisation de déblais en remblais » Mesure « Limitation de la vitesse de circulation des véhicules » : extension des opérations visées par la mesure + précisions apportées sur la mesure
2.4.1.3	**Incidences résiduelles**	X	X	X	X	EI-DAC1/EI-DAC2	Précisions apportées concernant la méthodologie d'évaluation des incidences résiduelles (modélisations de dispersion atmosphérique) : Réévaluation des émissions de la phase fonctionnement suite aux études d'APD et mise à jour de la modélisation et des cartographies associées. Ajout de l'évaluation des émissions en phase de construction initiale, présentation des résultats de la modélisation et des cartographies associées. Mise à jour des modélisations prenant en compte la nouvelle répartition du parc des véhicules et des engins, les valeurs récentes de pollution de fond (2020-2024), les données météorologiques récentes (2020-2024). Prise en compte de l'évolution de la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) fixée 4 mg/m^3 pour les poussières inhalables (Décret n° 2021-1763 du 23 décembre 2021). Ajout d'un nouveau traceur de risque : le Benzo(a)pyrène pour la circulation des véhicules. Cette version prend en compte les remarques de l'Autorité Environnementale dans le cadre de l'instruction de l'étude d'impact du DR0.
2.4.1.4	**Synthèse des incidences et mesures relatives aux émissions conventionnelles**	X				EI-DAC1	Actualisation du tableau et de l'encart de synthèse en cohérence avec le contenu du chapitre
2.4.2.1	**Incidences potentielles**	X				EI-DAC1	Précisions et justifications apportées sur les incidences potentielles. Formalisation de la synthèse des incidences potentielles au sein d'un tableau.
2.4.2.2	**Mesures d'évitement et de réduction**	X				EI-DAC2	Ajout de la mesure « Absence d'ouverture des colis et de traitement des déchets radioactifs (HA et MA-VL) » qui était présente dans le chapitre 10 du présent volume
2.4.2.3	**Incidences résiduelles**	X			X	EI-DAC1	Précisions apportées sur la méthode de modélisation. Réévaluation des émissions de la phase fonctionnement suite aux études d'APD réévaluées, et mise à jour de la modélisation et des cartographies associées.
2.4.2.3.2	**Concentrations dans l'air des émissions radioactives**				X	EI-DAC2	Compléments apportés sur la modélisation de la dispersion du tritium associés aux rejets atmosphériques maximaux
2.4.2.4	**Synthèse des incidences et mesures relatives aux émissions de substances radioactives dans l'air**	X				EI-DAC2	Complément dans la synthèse en lien avec la mesure ajoutée au chapitre 2.4.2.2 du présent volume

Chapitre EI DAC déposée		Précisions sur les caractéristiques techniques	Évolution de l'état initial	Évolution-réglementaire	Précision demandée lors de l'instruction du dossier	Actualisation concernée	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume IV de l'EI-DAC2 déposée EI-DAC1 = étude d'impact de la demande de création de l'INB Cigéo, déposée en 2023 EI-DR0 = étude d'impact des dossiers de la tranche de travaux DR0 EI-DAC2 = étude d'impact associée aux consultations réglementaires de la DAC, déposée en 2025 EI-DAC3 = étude d'impact associée à l'enquête publique de la DAC, déposée en 2026
2.4.2.5	Incidences liées aux émissions atmosphériques sur la santé humaine	X				EI-DAC1	Actualisation du tableau et de l'encart de synthèse en cohérence avec le contenu du chapitre
3.1	Incidences potentielles	X				EI-DAC1	Précisions et justifications apportées sur les incidences potentielles sur les modifications du relief. Formalisation de la synthèse des incidences potentielles au sein d'un tableau.
3.2.	Modification du relief, terrassements et mouvements de terre	X				EI-DR0	Inversion du 3.2 et du 3.3 pour présenter les thématiques dans le même ordre qu'au sein du volume 3
3.4.1	Incidences après mesures d'évitement	X				EI-DAC1	Précisions apportées sur les surfaces remaniées, les effets indirects liés aux émissions de gaz à effet de serre et à la destruction d'habitats et d'espèces
3.4.1.2	Changement permanent d'occupation du sol	X				EI-DAC1	Précisions apportées sur les surfaces d'occupation du sol
3.4.2	Mesures de réduction		X			EI-DAC1/EI-DR0	Modification des opérations cibles pour les mesures « optimisation de la ZIP du centre de stockage Cigéo » et « Remise en état des ZIP temporaires » et précisions apportées dans la description de la mesure Précisions apportées sur certaines mesures
3.4.2.4	Végétalisation progressive des verses	X				EI-DAC1	Précisions apportées sur les verses « mortes » et l'évitement de la consommation d'espaces boisés par la valorisation des verses
3.4.3.2	Incidences résiduelles permanentes	X				EI-DAC1	Précisions apportées sur les incidences résiduelles permanentes sur l'occupation du sol
3.4.4.4	Mesures compensatoires	X				EI-DAC1	Précisions apportées sur les mesures de compensation écologiques, agricoles et sylvicoles.
3.5.1.2	Dépôt de poussières	X			x	EI-DAC1/EI-DAC2/EI-DAC3	Précisions apportées sur les dépôts des éléments radioactifs et l'activité massique du sol Actualisation des valeurs de dépôt de poussières liés à la nouvelle modélisation de dispersion atmosphérique de juillet 2025
3.5.1.3	Dépôt au sol des radionucléides émis dans l'air en phase de fonctionnement par l'INB Cigéo	X				EI-DAC1	Création d'un nouveau chapitre dont le contenu est issu du chapitre 3.4.5.9.d du volume II de l'EI-DUP
3.5.1.4	Absence d'incidence des rayonnements produits par les colis de déchets radioactifs sur les terrains situés en surface	X				EI-DAC2	Précisions apportées concernant la protection de l'homme et de l'environnement à long terme

Chapitre EI DAC déposée		Précisions sur les caractéristiques techniques	Évolution de l'état initial	Évolution-réglementaire	Précision demandée lors de l'instruction du dossier	Actualisation concernée	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume IV de l'EI-DAC2 déposée EI-DAC1 = étude d'impact de la demande de création de l'INB Cigéo, déposée en 2023 EI-DR0 = étude d'impact des dossiers de la tranche de travaux DR0 EI-DAC2 = étude d'impact associée aux consultations réglementaires de la DAC, déposée en 2025 EI-DAC3 = étude d'impact associée à l'enquête publique de la DAC, déposée en 2026
3.5.2.2	Organisation globale du chantier	X				EI-DAC1/EI-DAC2	Développement de cette mesure générale et commune à plusieurs thématiques Précisions sur le nombre de base vie
3.5.2.3	Rappel des mesures de réduction relatives aux émissions atmosphériques	X				EI-DAC1/EI-DR0	Mise en cohérence des mesures de réduction relatives aux émissions atmosphériques en lien avec l'évolution du chapitre 2 de l'EI-DAC
3.5.2.4	Rappel des mesures de réduction relatives au déversement de polluants susceptible d'impacter les eaux superficielles		X			EI-DR0	Mise à jour de la liste des mesures présentées dans d'autres chapitres de l'EI
3.5.2.5	Rappel des mesures de réduction relatives à la gestion des déchets		X			EI-DR0	Mise à jour de la liste des mesures présentées dans d'autres chapitres de l'EI
3.6	Synthèse des incidences et mesures sur les sols	X				EI-DAC1	Actualisation du tableau et de l'encart de synthèse en cohérence avec le contenu du chapitre
4.1	Incidences potentielles	X				EI-DAC1/EI-DR0	Précisions et justifications apportées sur les incidences potentielles des perturbations des propriétés du Callovo-Oxfordien Formalisation de la synthèse des incidences potentielles au sein d'un tableau Redécoupage du chapitre par incidence potentielle pour une meilleure lisibilité
4.2	Pollution accidentelle physico-chimique	X				EI-DAC1	Ajout d'un chapitre spécifique aux incidences d'une pollution accidentelle physico-chimique en conséquence du découpage du chapitre par incidence potentielle sur la base des anciens chapitres 4.3.1.1 et 4.3.1.2 de l'EI DUP
4.3.1.1	Conditionnement définitif des déchets radioactifs	X				EI-DAC1	Ancien chapitre 4.3.2.1 de l'EI DUP et complété Précisions apportées sur les sources d'émissions de radionucléides par les colis de déchets et sur l'absorption des rayonnements
4.3.1.2	Conception de l'installation souterraine garantissant le maintien des caractéristiques du Callovo-Oxfordien favorables au confinement	X				EI-DAC1	Ancien chapitre 4.3.2.2 de l'EI DUP et complété Précisions apportées sur le stockage de colis de déchets et la préservation des propriétés des argilites Précisions et justifications apportées sur la préservation des propriétés du Callovo-Oxfordien
4.3.1.3	Séparation des opérations de stockage des déchets et de creusement de nouveaux alvéoles					EI-DAC1	Ancien chapitre 4.3.2.3 de l'EI DUP
4.3.1.4	Définition d'un périmètre de droit exclusif et d'un périmètre de protection	X				EI-DAC1	Ancien chapitre 4.3.2.4 de l'EI DUP Complété concernant le périmètre de protection (descriptif et cartographie) Ajout du périmètre de droit exclusif (descriptif et cartographie)

Chapitre EI DAC déposée		Précisions sur les caractéristiques techniques	Évolution de l'état initial	Évolution-réglementaire	Précision demandée lors de l'instruction du dossier	Actualisation concernée	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume IV de l'EI-DAC2 déposée EI-DAC1 = étude d'impact de la demande de création de l'INB Cigéo, déposée en 2023 EI-DR0 = étude d'impact des dossiers de la tranche de travaux DR0 EI-DAC2 = étude d'impact associée aux consultations réglementaires de la DAC, déposée en 2025 EI-DAC3 = étude d'impact associée à l'enquête publique de la DAC, déposée en 2026
4.3.2.1	Confinement des radionucléides et substances toxiques chimiques contenues dans les colis	X				EI-DAC1	Ancien chapitre 4.3.1.3 de l'EI DUP Mise à jour du paragraphe présentant les capacités de confinement du centre de stockage Cigéo par rapport aux radionucléides et substances toxiques chimiques
4.3.2.2	Maintien des caractéristiques du Callovo-Oxfordien favorables au confinement	X			x	EI-DAC1	Ajout d'un chapitre sur l'incidence résiduelle relative aux perturbations des propriétés du Callovo-Oxfordien en cohérence avec le mémoire en réponse au procès-verbal de synthèse des observations de la commission d'enquête publique sur l'EI-DUP
4.3.2.3	Conclusion	X				EI-DAC1	Conclusion des chapitres 4.3.2.1 et 4.3.2.2 et justifications apportées sur l'incidence résiduelle relative à la contamination potentielle radiologique et chimique du sous-sol par les colis de déchets et la protection de l'homme et de l'environnement
4.4.1.1	Implantation du stockage dans une zone géologique d'activité sismique très faible	X				EI-DAC1	Ancien chapitre 4.2.1 de l'EI DUP Précisions apportées sur le déploiement progressif de l'installation souterraine
4.4.1.2	Conception et exploitation conformes aux règles spécifiques applicables aux installations nucléaires	X				EI-DAC1	Ajout en cohérence avec l'EMR
4.4.2	Incidences résiduelles	X				EI-DAC1	Ajout pour conclure la thématique
4.5.1.1	Choix de l'orientation des alvéoles de stockage	X				EI-DAC1	Développement d'une sous mesure de l'ancien chapitre 4.3.2.2 de l'EI DUP
4.5.1.2	Adaptation des méthodes de creusement	X				EI-DAC1	Ancien chapitre 4.4.2.1 de l'EI DUP
4.5.1.3	Adaptation des méthodes de construction des installations de surface	X				EI-DAC1	Ancien chapitre 4.4.2.2 de l'EI DUP
4.5.2	Incidences résiduelles	X				EI-DAC1	Ancien chapitre 4.4.1 de l'EI DUP Ajout de la carte « Risque de mouvements de terrain – zoom sur le centre de stockage Cigéo » Précision des incidences résiduelles avec la vulnérabilité du projet global Cigéo aux risques de retrait-gonflement des argiles Précisions et justifications apportées sur l'incidence du projet global Cigéo vis-à-vis des risques de retrait-gonflement des argiles
4.6.1	Mesures d'évitement	X				EI-DAC1	Anciens chapitres 4.2.2 et 4.2.3 de l'EI DUP
4.6.2	Incidences après mesures d'évitement	X				EI-DAC1	Ajout de la quantification des consommations de matériaux de construction par période homogène pour la construction du centre de stockage Cigéo

Chapitre EI DAC déposée		Précisions sur les caractéristiques techniques	Évolution de l'état initial	Évolution-réglementaire	Précision demandée lors de l'instruction du dossier	Actualisation concernée	Précisions sur les évolutions apportées au contenu du volume IV de l'EI-DAC2 déposée EI-DAC1 = étude d'impact de la demande de création de l'INB Cigéo, déposée en 2023 EI-DR0 = étude d'impact des dossiers de la tranche de travaux DR0 EI-DAC2 = étude d'impact associée aux consultations réglementaires de la DAC, déposée en 2025 EI-DAC3 = étude d'impact associée à l'enquête publique de la DAC, déposée en 2026
4.6.3	Mesures de réduction	X				EI-DAC1	Ajout en développement de l'ancien chapitre 4.5.2 de l'EI DUP
4.6.3.2	Réemploi et traitement des matériaux	X				EI-DAC2	Précisions sur les pistes de valorisation des verses
4.6.4	Incidences résiduelles					EI-DAC1	Ancien chapitre 4.5.4 de l'EI DUP
4.6.5	Compatibilité avec le schéma régional des carrières Grand Est	X		X		EI-DAC1/EI-DAC2	Mise à jour du chapitre avec le schéma régional des carrières
4.7	Synthèse des incidences et mesures sur le sous-sol	X				EI-DAC2	Mise à jour de la synthèse avec les mises à jour effectuées sur les autres paragraphes
4.7	Synthèse des incidences et mesures sur le sous-sol	X				EI-DAC1	Actualisation du tableau et de l'encart de synthèse en cohérence avec le contenu du chapitre

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1-1 Présentation générale de la démarche d'évaluation des incidences (impacts) 8
Figure 1-2 Des effets de différents types 8
Figure 1-3 Démarche éviter réduire compenser 10
Figure 1-4 Principales phases du projet 12
Figure 2-1 Variation du panache de fumée selon les conditions météorologiques 14
Figure 2-2 Représentation schématique du phénomène d'îlot de chaleur 15
Figure 2-3 Obstacle à l'écoulement du vent, représentation du phénomène de turbulence 16
Figure 2-4 Représentation schématique du phénomène d'ombre portée 16
Figure 2-5 Émissions de gaz à effet de serre par phases opérationnelles et postes d'émission 29
Figure 2-6 Effets de la pollution de l'air sur l'environnement et la santé humaine. 34
Figure 2-7 Arrosage des pistes pour limiter l'envol de poussières par temps sec 37
Figure 2-8 Concentration en Nox (µg/m³) en phase de construction initiale 45
Figure 2-9 Concentration en SO_2 (µg/m³) en phase de construction initiale 46
Figure 2-10 Concentration en PM10 (µg/m³) en phase de construction initiale 46
Figure 2-11 Concentration en PM2,5 (µg/m³) en phase de construction initiale 47
Figure 2-12 Concentration en benzène (µg/m³) en phase de construction initiale 47
Figure 2-13 Concentration en Nox (µg/m³) en phase de fonctionnement 52
Figure 2-14 Concentration en SO_2 (µg/m³) en phase de fonctionnement 53
Figure 2-15 Concentration en PM10 (µg/m³) en phase de fonctionnement 53
Figure 2-16 Concentration en PM2,5 (µg/m³) en phase de fonctionnement 54
Figure 2-17 Concentration en benzène (µg/m³) en phase de fonctionnement 54
Figure 2-18 Illustration des modélisations de la dispersion atmosphérique des gaz et aérosols 62
Figure 2-19 Rose des vents à la station atmosphérique d'Houdelaincourt 63
Figure 2-20 Illustration des concentrations maximales en tritium dans l'air associées aux rejets par le centre de stockage Cigéo 64
Figure 3-1 Plan de principe de localisation du déploiement des verses en zone puits 76
Figure 3-2 Occupation du sol au sein du projet global Cigéo 78
Figure 3-3 Occupation du sol au sein du projet global Cigéo – zoom sur le centre de stockage 79
Figure 4-1 Photographie d'une radiographie très haute énergie d'un colis contenant un fût de déchets technologiques placé dans un conteneur en béton 97
Figure 4-2 Illustration d'un colis de stockage des déchets vitrifiés avec son conteneur de stockage 98
Figure 4-3 Illustration d'un colis de stockage MA-VL en conteneur béton 98
Figure 4-4 Carte du périmètre de droit exclusif 100
Figure 4-5 Carte du périmètre de protection 101
Figure 4-6 Représentation de la fracturation induite autour des ouvrages suivant leurs orientations par rapport à la contrainte horizontale mineure (gauche) et majeure (droite) 104
Figure 4-7 Risque de mouvements de terrain 106
Figure 4-8 Risque de mouvements de terrain – zoom sur le centre de stockage Cigéo 107
Figure 4-9 Production de granulats en Région Grand Est 109
Figure 4-10 Distance entre le centre de stockage Cigéo et les potentielles carrières d'approvisionnement 110
Figure 4-11 Taille des potentielles carrières d'approvisionnement du centre de stockage Cigéo 110
Figure 4-12 Raccordement des carrières au réseau ferré 110
Figure 4-13 Distances entre le centre de stockage Cigéo et les potentielles cimenteries 110
Figure 4-14 Localisation et production annuelle des cimenteries les plus proches du centre de stockage Cigéo 111

Tableaux

Tableau 1-1	Éléments d'appréciation du niveau d'incidence (grille indicative d'évaluation)	9
Tableau 1-2	Exemple de tableau de présentation d'une mesure ERC	10
Tableau 1-3	Exemple de tableau de synthèse des incidences potentielles du projet global Cigéo	10
Tableau 1-4	Exemple de tableau de synthèse des mesures mises en œuvre dans le cadre du projet global Cigéo	11
Tableau 2-1	Incidences potentielles du projet global Cigéo sur les conditions météorologiques	17
Tableau 2-2	Synthèse des mesures mises en œuvre pour limiter l'impact sur les conditions météorologiques locales dans le cadre du projet global Cigéo	19
Tableau 2-3	Incidences potentielles du projet global Cigéo au changement climatique	20
Tableau 2-4	Synthèse des mesures mises en œuvre pour limiter l'impact à long terme sur les conditions météorologiques locales et donc les effets des risques météorologiques et du changement climatique dans le cadre du projet global Cigéo	23
Tableau 2-5	Incidences potentielles du projet global Cigéo sur l'énergie et les gaz à effet de serre	24
Tableau 2-6	Répartition des émissions de gaz à effet de serre par postes d'émission	29
Tableau 2-7	Synthèse des mesures mises en œuvre pour limiter les émissions de gaz à effet de serre dans le cadre du projet global Cigéo	31
Tableau 2-8	Incidences potentielles des émissions conventionnelles du projet global Cigéo sur la qualité de l'air	33
Tableau 2-9	Principaux effets de la pollution atmosphérique sur l'environnement et la santé humaine	35
Tableau 2-10	Recensements des sources d'émissions atmosphériques en phase d'aménagements préalables	40
Tableau 2-11	Recensements des sources d'émissions atmosphériques en phase de construction initiale	41
Tableau 2-12	Concentrations en moyenne annuelle – Incidences liées à la zone puits (ZP) en phase de construction initiale	42
Tableau 2-13	Concentrations en moyenne annuelle – Incidences liées à la zone descenderie (ZD) en phase de construction initiale	43
Tableau 2-14	Concentrations en moyenne annuelle – Incidences cumulées (ZP + ZD + LIS + Trafic) en phase de construction initiale	44
Tableau 2-15	Recensements des sources d'émissions atmosphériques en phase de fonctionnement	48
Tableau 2-16	Concentrations en moyenne annuelle – Incidences liées à la zone puits (ZP) en phase de fonctionnement	49
Tableau 2-17	Concentrations en moyenne annuelle – Incidences liées à la zone descenderie (ZD) en phase de fonctionnement	50
Tableau 2-18	Concentrations en moyenne annuelle – Incidences cumulées (ZP + ZD + LIS + Trafic) en phase de fonctionnement	50
Tableau 2-19	Synthèse des mesures mises en œuvre pour limiter l'impact des émissions conventionnelles dans l'air dans le cadre du projet global Cigéo	56
Tableau 2-20	Incidences potentielles des émissions radioactives du projet global Cigéo sur la qualité de l'air	59
Tableau 2-21	Rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux de l'installation nucléaire de surface	61
Tableau 2-22	Rejets radioactifs atmosphériques annuels maximaux de l'installation souterraine	61
Tableau 2-23	Correspondance en activité volumique dans l'air de la limite d'impact au public	64
Tableau 2-24	Concentrations annuelles maximales dans l'air des éléments radioactifs émis par le centre de stockage Cigéo en phase de fonctionnement	65
Tableau 2-25	Synthèse des mesures mises en œuvre pour limiter l'impact des émissions radioactives dans l'air dans le cadre du projet global Cigéo	66
Tableau 2-26	Prise en compte des règles Climat-Air-Énergie du SRADDET Grand Est dans le projet global Cigéo	68
Tableau 3-1	Incidences potentielles du projet global Cigéo sur le sol	72
Tableau 3-2	Estimation des ordres de grandeurs des déblais et remblais générés par les quatre autres opérations du projet global	74
Tableau 3-3	Grandes classes d'occupation du sol actuelle dans la zone d'intervention potentielle du projet global Cigéo	80
Tableau 3-4	Occupation du sol de la zone d'intervention potentielle du projet global Cigéo – phase fonctionnement	84
Tableau 3-5	Dépôts de poussières moyens annuels totaux modélisés et comparées aux valeurs de référence (20)	85
Tableau 3-6	Dépôts annuels potentiels au sol des éléments radioactifs émis par le centre de stockage Cigéo en phase de fonctionnement au niveau du village de Bure	86
Tableau 3-7	Activité massique du sol à Bure (en Bq/kg)	86
Tableau 3-8	Synthèse des mesures mises en œuvre pour les sols dans le cadre du projet global Cigéo	90
Tableau 4-1	Incidences potentielles du projet global Cigéo sur le sous-sol	96
Tableau 4-2	Quantification des consommations de matériaux de construction par période homogène pour la construction du centre de stockage Cigéo	109
Tableau 4-3	Modalités de prise en compte par le projet global Cigéo des dispositions du SRC Grand Est	112
Tableau 4-4	Synthèse des mesures mises en œuvre pour le sous-sol dans le cadre du projet global Cigéo	115

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 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). Ministère de la Transition énergétique (2022). Journal officiel de la République française (JORF), N°ENER2200646D.

2 Cigéo : les documents de référence. Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra) (2020). Consulté le 02/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.andra.fr/cigeo/les-documents-de-reference#section-3144.

3 Évaluation environnementale - Guide d'aide à la définition des mesures ERC. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema); Ministère de la Transition écologique et solidaire (2018). 134 p. Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20Guide%20d%E2%80%99aide%20%C3%A0%20la%20d%C3%A9finition%20des%20mesures%20ERC.pdf.

4 Comprendre le phénomène pour l'éviter et le réduire. Actu-environnement (2016). Consulté le 30/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/ilots-chaleur/comprendre-phenomene-eviter-reduire-capteurs.php.

5 Dossier départemental des risques majeurs (DDRM) Haute-Marne. Direction départementale des territoires Haute-Marne (2017). 108 p. Disponible à l'adresse : https://www.haute-marne.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Risques-naturels-et-technologiques/Risques-majeurs-DDRM.

6 Dossier départemental des risques majeurs (DDRM). Département de la Meuse (2019). 136 p. Disponible à l'adresse : http://webissimo-ide.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/1_ddrm_signe_cle721125.pdf.

7 Stratégie nationale bas-carbone : la transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone. Ministère de la Transition écologique et solidaire (2020). 192 p. Disponible à l'adresse : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf.

8 L'empreinte carbone des Français reste stable. Ministère de la Transition écologique et solidaire; Commissariat général au développement durable (2020). 4 p. Disponible à l'adresse : https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-01/datalab-essentiel-204-l-empreinte-carbone-des-francais-reste-%20stable-janvier2020.pdf.

9 Thill, M., Toni, A. Qualité de l'air et émissions polluantes des chantiers du BTP - État des connaissances et mesures d'atténuation dans le bâtiment et les travaux publics en faveur de la qualité de l'air. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe); Setec Energie Environnement; BIO by Deloitte (2017). 142 p. Disponible à l'adresse : https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/qualite-air-emissions-polluants-chantiers-btp_2017-rapport_v2.pdf.

10 Dossier de validation du logiciel ARIA Impact. Aria Technologies (2009). N°ARIA/2007/105. 29 p.

11 Dossier de demande d'autorisation environnementale et d'urbanisme - Tranche de travaux DR0. Pièce DAE6 - Étude d'impact du projet global Cigéo. Andra (2024). Document N°CG-01-D-EDM-AMOA-ESE-0100-23-0006.

12 Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA 006) - Omega 12 - Dispersion atmosphérique (mécanismes et outils de calcul). Institut national de l'environnement industriel et des risques (Ineris) (2002). N°INERIS DRA 2002 25427. 64 p. Disponible à l'adresse : https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/46web.pdf.

13 Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material (2012 edition). International Atomic Energy Agency (IAEA) (2012). N°SSR-6. 191 p. Disponible à l'adresse : https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1570_web.pdf.

14 Arrêté du 29 mai 2009 relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (dit « arrêté TMD », version consolidée au 29 mars 2025). Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire; Ministère de l'Économie, de l'Industrie et de l'Emploi (2025). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP0911622A.

15 ADR en vigueur le 1er janvier 2017 - Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par la route - Volume 1 et 2. Nations Unies (2016). Vol. 1. ISBN : 978-92-1-239139-7.

16 Arrêté du 9 août 2013 portant homologation de la décision n° 2013-DC-0360 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 16 juillet 2013 relative à la maîtrise des nuisances et de l'impact sur la santé et l'environnement des installations nucléaires de base (version consolidée de la décision au 23 décembre 2016). Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2016). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP1319360A; DEVP1634501A.

17 Monfort, M., Duchenne, C. Description des modèles du code GASCON de la plate-forme CERES destiné à l'évaluation de la dispersion atmosphérique et des conséquences sur l'homme et l'environnement de radionucléides émis en fonctionnement normal. Commissariat à l'énergie atomique (CEA) (2011). N°SIM SCGCI RBC NT 11000608 A. 48 p.

18 Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) - Rapport - Parties 1 Diagnostic territorial, 2 Stratégie, 3 Cartes et fascicule. Grand Est Territoires (2019). 265 p.

19 Corine Land Cover. Ministère de la Transition écologique et solidaire; Ministère de la Cohésion des territoires (2018). Consulté le 25/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0.

20 Coeffic, V., Boutonnet, F. Mesures de retombées de poussières sédimentables - Carrière de Viols le Fort : rapport annuel (année 2017). Atmo Occitanie; Société des Nouvelles Carrières du Pic St-Loup (2018). 16 p.

21 Installations de séparation de liquides légers (par exemple hydrocarbures) - Partie 1 : principes pour la conception, les performances et les essais, le marquage et la maîtrise de la qualité. Association française de normalisation (Afnor) (2002), NF EN 858-1.

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

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

24 Guide de sûreté relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde (guide de l'ASN). Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2008). N°1. 32 p. Disponible à l'adresse : https://www.asn.fr/Media/Files/guide_RFSIII_2_fV1_2_.

25 Missions d'ingénierie géotechnique - Classification et spécifications. Association française de normalisation (Afnor) (2013), NF P 94-500.

26 Le schéma départemental des carrières de la Meuse (SDC). Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) Grand Est (2015). Consulté le 18/09/2025. Disponible à l'adresse : https://www.meuse.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Environnement/ICPE/Carrieres/Schema-departemental-des-carrieres/node_8071.

27 Le schéma départemental des carrières de la Haute-Marne (SDC). Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) Grand Est (2003).

28 Le Schéma régional des carrières (SRC) de la région Grand Est. Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) Grand Est (2024). Consulté le 18/09/2025. Disponible à l'adresse : https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/presentation-a21768.html.

29 Le schéma régional d'aménagement et de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET). Région Grand Est (2025). Consulté le 24/03/2025. Disponible à l'adresse : https://www.grandest.fr/le-schema-regional-damenagement-et-de-developpement-durable-et-degalite-des-territoires/.

30 Décret n° 2021-837 du 29 juin 2021 portant diverses réformes en matière d'évaluation environnementale et de participation du public dans le domaine de l'environnement. Premier ministre (2021). Journal officiel de la République française (JORF), N°TRED2031037D.

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