RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ANDRA

2026

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

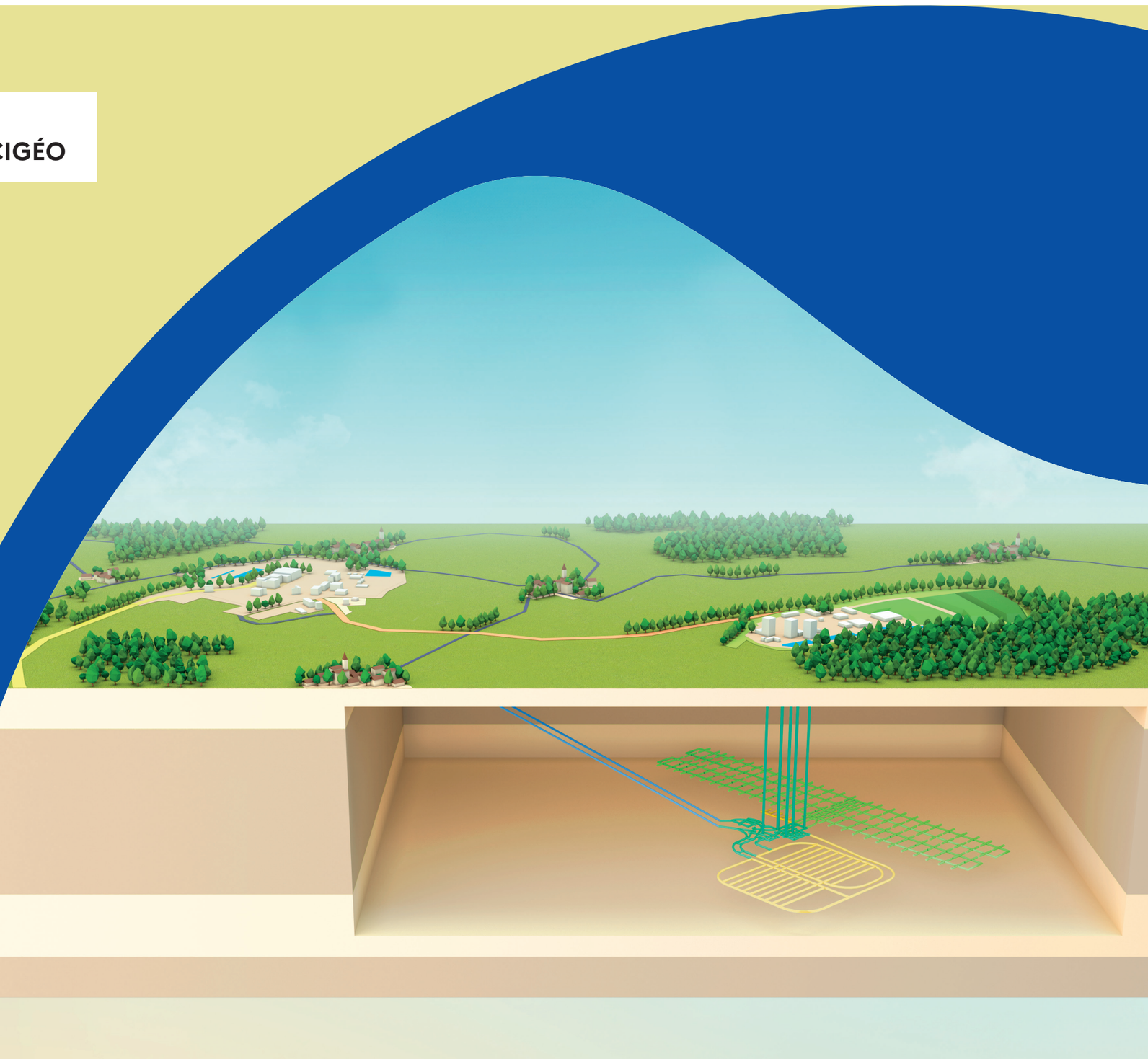
PIÈCE 6

Étude d'impact du projet global Cigéo

Volume 3

État actuel de l'environnement et facteurs susceptibles d'être affectés par le projet

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 de l'état initial 7

1.1 Définition de l'état initial 8
1.2 Hiérarchisation des enjeux 8
1.3 Typologie des aires d'étude 8

2. Atmosphère - État initial 11

2.1 Aires d'étude et stations de référence 12
2.1.1 Aires d'étude 12
2.1.2 Les stations météorologiques de référence 12
2.2 Documents de planification climat - air - énergie 12
2.2.1 Contexte 12
2.2.2 Les plans nationaux 13
2.2.3 Les plans locaux 15
2.2.4 Synthèse sur les documents de planification climat – air – énergie 19
2.3 Conditions météorologiques locales 19
2.3.1 Précipitations 19
2.3.2 Températures 21
2.3.3 Vitesse et direction du vent 23
2.3.4 Hygrométrie 25
2.3.5 Durée d'ensoleillement 25
2.3.6 Évapotranspiration 26
2.3.7 Risques météorologiques majeurs 27
2.3.8 Changement climatique 27
2.3.9 Synthèse des conditions météorologiques locales 27
2.4 Énergie et gaz à effet de serre 28
2.4.1 Profil énergétique 28
2.4.2 Potentiel en énergies renouvelables 29
2.4.3 Émissions de gaz à effet de serre 30
2.4.4 Séquestration carbone 32
2.4.5 Synthèse sur l'énergie et les gaz à effet de serre 34
2.5 Qualité de l'air 34
2.5.1 Paramètres conventionnels 35
2.5.2 Radioactivité dans l'air 44
2.5.3 Synthèse de l'état initial de la qualité de l'air 50

3. Sol – État initial 51

3.1 Définitions et aires d'étude 52
3.2 Relief, géomorphologie et topographie 52
3.2.1 Relief dans l'aire d'étude éloignée 52
3.2.2 Relief de l'aire d'étude rapprochée 56
3.2.3 Relief de l'aire d'étude immédiate 56
3.3 Occupation et caractéristiques des sols 59
3.3.1 Occupation des sols 59
3.3.2 Caractérisations pédologiques des sols 61
3.3.3 Caractéristiques physiques des sols 67
3.3.4 Caractéristiques naturelles chimiques des sols 67
3.3.5 Caractéristiques biologiques des sols 67
3.3.6 Caractéristiques radiologiques des sols 67
3.4 Sites et sols pollués ou potentiellement pollués 69
3.4.1 Sites CASIAS (anciennement BASIAS) 70
3.4.2 Sites BASOL 73
3.4.3 Secteurs d'information sur les sols (SIS) 73
3.4.4 Autres sources de pollutions potentielles 73
3.5 Synthèse concernant les sols 74

4. Sous-Sol – État initial 75

4.1 Aires d'étude 76
4.2 Tectonique 77
4.2.1 Rappel sur le contexte tectonique de la France 78
4.2.2 Contexte tectonique de l'aire d'étude éloignée 78
4.2.3 Contexte tectonique de la zone d'Intérêt pour la recherche approfondie et de la zone d'Implantation des ouvrages souterrains 80
4.2.4 Contexte tectonique de l'aire d'étude rapprochée 80
4.3 Stratigraphie 82
4.3.1 Formations affleurantes le long de la ligne électrique 400 kV 84
4.3.2 Stratigraphie dans l'aire d'étude éloignée 85
4.4 Caractéristiques radiologiques du sous-sol 91
4.4.1 Potassium 40 (^{40}K) 91
4.4.2 Isotopes du thorium (Th) et de l'uranium (U) 91
4.4.3 Synthèse de l'état initial radiologique des couches géologiques 92
4.5 Caractéristiques radiologiques des eaux porales du Callovo-Oxfordien 93
4.6 Ressources naturelles potentielles du sous-sol 93
4.6.1 Ressources naturelles 93
4.6.2 Les matériaux de carrière dans l'aire d'étude éloignée 93
4.6.3 Les minerais dans l'aire d'étude éloignée 94
4.6.4 Le charbon dans l'aire d'étude éloignée 94
4.6.5 Les hydrocarbures dans l'aire d'étude éloignée 94
4.6.6 La géothermie dans l'aire d'étude éloignée 94
4.7 Risques majeurs liés à la géologie 96
4.7.1 Risques de mouvements de terrain 96
4.7.2 Risque sismique d'origine naturelle ou anthropique 100
4.8 Synthèse concernant le sous-sol 102

Tableau de traçabilité des principales évolutions de l'étude d'impact 105

Tables des illustrations 109

Références bibliographiques 111

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 : chapitres 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 : chapitres 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 : chapitres 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 : chapitres 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 : chapitres 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 : chapitres 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 : chapitres 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
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)

Conformément à l'article R. 122-5 du code de l'environnement, ce **volume III** décrit l'état initial de l'environnement sur les périmètres concernés par le projet global Cigéo et son évolution.

Afin de mettre en lumière les spécificités du territoire, il s'organise autour des chapitres présentés dans le tableau ci-contre.

Chaque facteur, présenté dans les chapitres 2 à 15, est décrit de manière proportionnée à la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet. Les éléments exposés s'appuient sur des données fournies par les organismes publics et sont approfondis chaque fois que nécessaire par des études menées par l'Andra et ses partenaires.

Les éléments relatifs à l'évolution future des facteurs de l'environnement sont présentés dans le volume IV où sont analysées en parallèle l'évolution sans le projet et l'évolution avec le projet.

Le présent document constitue la partie 1 du volume III de la présente étude d'impact.

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) ;

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

- 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 de l'état initial

1.1 Définition de l'état initial 8
1.2 Hiérarchisation des enjeux 8
1.3 Typologie des aires d'étude 8

1.1 Définition de l'état initial

L'analyse de l'état initial de l'environnement consiste à faire le diagnostic de l'existant et du fonctionnement global et dynamique du territoire d'implantation du projet global Cigéo. L'état initial aborde tous les thèmes et facteurs de l'environnement, de façon à disposer des données nécessaires et suffisantes à l'évaluation des incidences du projet.

Ce caractère exhaustif de l'état initial de l'environnement n'implique pas pour autant de mener le même degré d'approfondissement géographique ou thématique pour tous les facteurs. L'état initial s'affine également selon la progressivité des études et des incidences potentielles. Conformément à l'article R. 122-5 du code de l'environnement, « *Le contenu de l'étude d'impact est proportionné à la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet*, à *l'importance et la nature des travaux, ouvrages et autres interventions* » et de « *leurs incidences prévisibles sur l'environnement ou la santé humaine* ».

L'état initial est basé sur des connaissances bibliographiques et des investigations de terrain.

Les données collectées et les études réalisées permettent de qualifier, voire quantifier, l'état de l'environnement pour la thématique étudiée (appelée dans cette étude d'impact « facteur », conformément à l'article R. 122-5 du code de l'environnement) et d'en apprécier, si possible, les dynamiques d'évolution, afin de mettre en évidence les enjeux territoriaux.

1.2 Hiérarchisation des enjeux

» L'ENJEU

L'enjeu est la valeur environnementale intrinsèque des milieux concernés au vu de leur état et de leur dynamique d'évolution, l'évolution naturelle des milieux et de l'évolution en fonction des pressions extérieures. Cet enjeu est aussi dépendant de l'intérêt que porte la société aux différents facteurs de l'environnement du fait des avantages et ressources qu'elle en retire. Ainsi, le maintien d'une bonne qualité de l'air ou de l'eau est une des préoccupations sociétales principales du fait de son lien direct avec la santé humaine et le bon état des écosystèmes. L'enjeu environnemental du territoire ou du milieu est indépendant du projet. Sur un même territoire, des zones présentant des niveaux d'enjeu différents peuvent être identifiées.

Une hiérarchisation des enjeux est réalisée, intégrant les expertises et les retours des concertations publiques. L'échelle de valeurs des enjeux utilisée dans la présente étude d'impact comprend cinq niveaux, tels que présentés ci-dessous. La présence d'un milieu de bonne qualité ou d'une ressource importante relève d'un enjeu modéré à fort. Les enjeux très forts découlent de la présence d'éléments très exceptionnels et rares sur la planète. Enfin, plus un facteur suscite un fort intérêt sociétal, plus son enjeu est fort.

Enjeux très forts
Enjeux forts
Enjeux modérés
Enjeux faibles
Enjeux très faibles

La démarche d'analyse de l'état initial est présentée pour chaque facteur dans le volume VII de la présente étude d'impact.

1.3 Typologie des aires d'étude

La caractérisation de l'état initial de l'environnement, l'appréciation de son évolution probable en l'absence de projet et l'évaluation des incidences du projet sont réalisées au travers de différentes aires d'étude, au sein desquelles les facteurs de l'environnement sont susceptibles d'être affectés par le projet de façon positive ou négative, directe ou indirecte secondaire, temporaire ou permanente, cumulative le cas échéant, et à court, moyen et long terme.

Les aires d'étude ont été définies pour chaque facteur en prenant en compte le principe de proportionnalité indiqué à l'article R. 122-5 du code de l'environnement : « *Le contenu de l'étude d'impact est proportionné à la sensibilité environnementale de la zone susceptible d'être affectée par le projet, à l'importance et la nature des travaux, installations, ouvrages, ou autres interventions dans le milieu naturel ou le paysage projetés et à leurs incidences prévisibles sur l'environnement ou la santé humaine* ».

Trois catégories d'aires d'étude sont définies en fonction des types d'effets potentiels envisagés :

- **l'aire d'étude immédiate** (cf. Figure 1-1 correspond à la zone géographique permettant d'appréhender les effets directs d'emprise des ouvrages et installations du projet global Cigéo ainsi que par les perturbations majeures liées aux travaux et activités.

  Une aire d'étude immédiate (sous cette seule terminologie) est commune à de nombreux facteurs de l'environnement, elle est étendue jusqu'à 500 mètres de part et d'autre de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo et des opérations des autres maîtres d'ouvrage du projet global, dont l'implantation ou les variantes d'implantation sont connues (cf. Chapitre 1.1.1 du volume VII de la présente étude d'impact). Elle inclut ainsi les potentielles zones de travaux et de fonctionnement du centre de stockage Cigéo et des opérations suivantes des autres maîtres d'ouvrage : les variantes d'alimentation électrique en dehors des travaux sécurisation de la ligne 400 kV Houdreville-Méry (cf. Volume VII de la présente étude d'impact), la mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000 et les variantes de déviation de la route départementale D60/960 et les premières opérations de caractérisation et de surveillance environnementale.

  Des aires d'étude immédiate sont spécifiques à certaines thématiques et avec un périmètre distinct de celui présenté précédemment - le nom de la thématique est alors associé au nom de l'aire d'étude immédiate – cela concerne la biodiversité et les activités agricoles et sylvicoles. Elles sont précisées en début de chapitre thématique et/ou dans le volume VII de la présente étude d'impact ;

- **l'aire d'étude rapprochée**, qui varie en fonction des facteurs de l'environnement, correspond à une extension de l'aire d'étude immédiate, mieux adaptée à l'évaluation de certains effets du projet ou concernant des opérations encore peu définies. Elle est décrite et représentée, selon les facteurs, au chapitre 1.2.2 du volume VII de la présente étude d'impact. C'est par exemple dans cette aire d'étude que sont intégrés les éléments relatifs à l'adduction d'eau pour le facteur eaux ou les facteurs relatifs au milieu humain ;

- **l'aire d'étude éloignée**, qui varie en fonction des facteurs de l'environnement, correspond à la zone permettant d'appréhender tous les effets potentiels ou éloignés directs et indirects secondaires du projet global Cigéo. Cette aire d'étude a été définie en tenant compte de l'ensemble des incidences potentielles que pourraient avoir les installations, ouvrages, travaux et activités d'après les connaissances disponibles. L'aire d'étude éloignée contient les aires d'étude rapprochée et immédiate. Elle est décrite et représentée, selon les facteurs, au chapitre 1.2.2 du volume VII de la présente étude d'impact.

  C'est dans cette aire d'étude que sont caractérisées les incidences potentielles de l'opération d'adduction d'eau pour de nombreux facteurs où les enjeux relatifs à cette opération ne sont pas notables. Une aire d'étude éloignée dite étendue a été définie en complément pour quelques facteurs spécifiques comme les infrastructures de transport et la gestion des déchets radioactifs pour analyser les incidences éloignées de l'opération d'expédition et de transport des colis radioactifs.

  L'adaptation de cette typologie à chaque facteur est décrite et justifiée dans le chapitre 1.2.2 du volume VII de la présente étude d'impact. Les aires d'étude de chaque facteur sont définies de manière proportionnée aux enjeux de ces facteurs et aux incidences potentielles des différentes opérations du projet global Cigéo pour chaque facteur.

Une aire d'étude spécifique a également été définie pour les travaux de sécurisation de la ligne électrique 400 kV qui s'étendent sur 124 km d'est en ouest (cf. Figure 1-1). Pour de nombreux facteurs, cette étendue est largement en dehors de la zone susceptible d'être affectée par le reste du projet global Cigéo. Pour d'autres facteurs, l'aire d'étude éloignée suffisamment vaste intègre les travaux de sécurisation de la ligne électrique 400 kV.

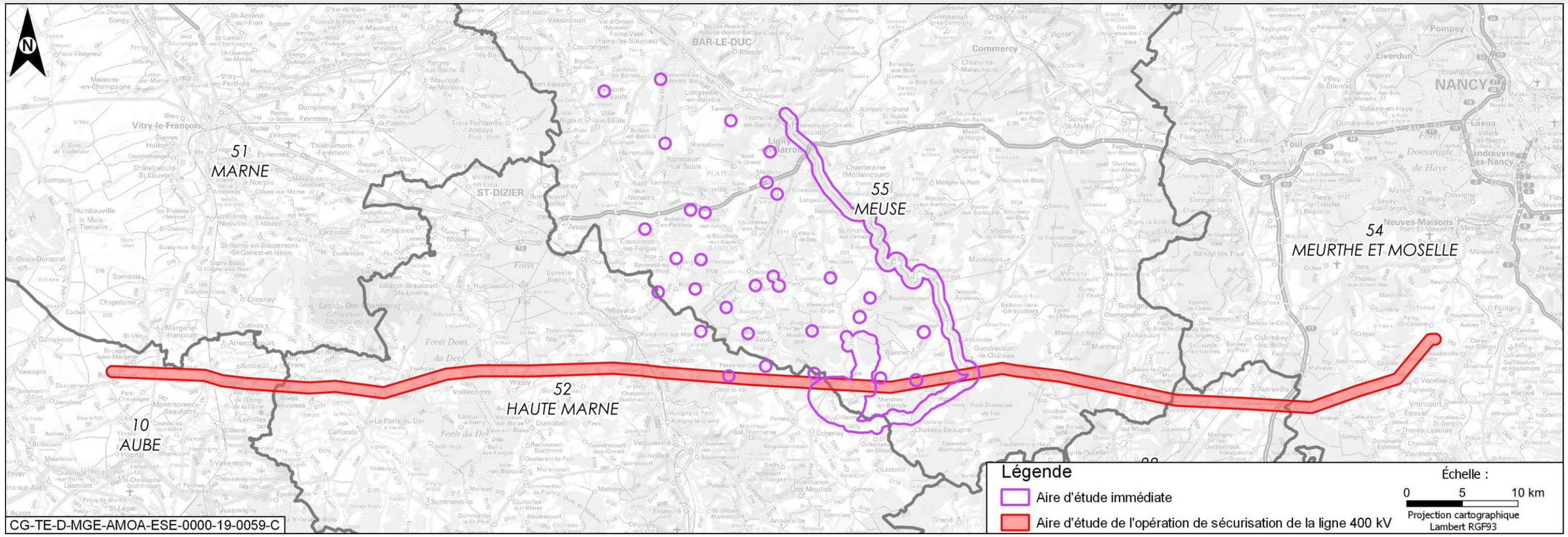


Figure 1-1 Aire d'étude immédiate et aire d'étude spécifique à l'opération de sécurisation de la ligne aérienne 400 kV

2

Atmosphère - État initial

2.1 Aires d'étude et stations de référence 12
2.2 Documents de planification climat - air - énergie 12
2.3 Conditions météorologiques locales 19
2.4 Énergie et gaz à effet de serre 28
2.5 Qualité de l'air 34

ATMOSPHÈRE

L'atmosphère est un milieu fluide, mélange de gaz et particules, décrit par ses propriétés chimiques, optiques, dynamiques et thermodynamiques telles que composition, température, pression, précipitations, vitesse… L'atmosphère interagit avec les autres milieux l'environnant, les sols, les surfaces couvertes en eau (rivières, lacs, mers…), mais aussi avec les organismes vivants.

Les propriétés atmosphériques, paramètres météorologiques (vent, température, couverture nuageuse…), mais aussi la composition gazeuse et particulaire de l'atmosphère varie à de nombreuses échelles spatio-temporelles sous l'effet de processus naturels, mais également de perturbations anthropiques. Les fluctuations météorologiques locales dépendent de processus à grande échelle liés aux grands équilibres climatiques et à la circulation générale de l'atmosphère, mais intègrent également des effets locaux liés notamment aux hétérogénéités de surface (topographie, type d'occupation de sol, de couvert, etc.).

2.1 Aires d'étude et stations de référence

2.1.1 Aires d'étude

L'atmosphère est étudiée dans le cadre du projet global Cigéo, à l'échelle de plusieurs aires d'étude décrites ci-dessous et détaillées dans le volume VII de la présente étude d'impact :

- l'aire d'étude immédiate, qui correspond à la zone susceptible d'être affectée directement par les effets d'emprise des ouvrages et installations du projet global Cigéo ainsi que par les perturbations majeures liées aux travaux et activités ;
- l'aire d'étude rapprochée du milieu physique, commune aux facteurs atmosphère, sol, sous-sols. Elle intègre toutes les populations potentiellement soumises à des modifications de la qualité de l'air ;
- l'aire d'étude éloignée, qui met en perspective les données locales relatives à l'atmosphère au regard des connaissances régionales.

Une aire d'étude spécifique décrite dans le volume VII de la présente étude d'impact est utilisée pour décrire l'état initial le long de l'opération de sécurisation de la ligne aérienne 400 kV.

2.1.2 Les stations météorologiques de référence

La climatologie locale a été déterminée grâce aux relevés de stations météorologiques exploitées par Météo-France et présentes dans le voisinage du projet global Cigéo, à savoir :

- la station météorologique de Saint-Dizier, située à 35 km du centre de stockage Cigéo ;
- la station atmosphérique d'Houdelaincourt, implantée par l'Andra à environ 2,5 km de la ligne ferroviaire 027000, environ 10 km de la zone puits et environ 15 km de la zone descenderie ;
- la station météorologique de Cirfontaines-en-Ornois, installée à environ 7 km de la zone puits et 5 km au sud de la zone descenderie.

Des détails sur ces stations sont apportés dans le volume VII de la présente étude d'impact.

La station atmosphérique d'Houdelaincourt a vocation à servir pour le suivi de la qualité de l'air tout au long des différentes phases de vie du centre de stockage Cigéo. La localisation de cette station a fait l'objet d'une analyse approfondie avec des experts pour garantir la représentativité des mesures réalisées. Cette station est intégrée dans plusieurs réseaux nationaux et internationaux de suivi de la qualité de l'air et notamment le réseau national de suivi de la radioactivité de l'air dénommé Observatoire permanent de la radioactivité (OPERA) de l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection, ASNR (ex. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN)). De par sa situation (altitude, éloignée des sources de pollution), elle est à ce jour également une référence pour le quart nord-est de la France.

L'exploitation de cette station de mesure est réalisée en partenariat avec Météo-France, l'IRSN et ATMO Grand Est.

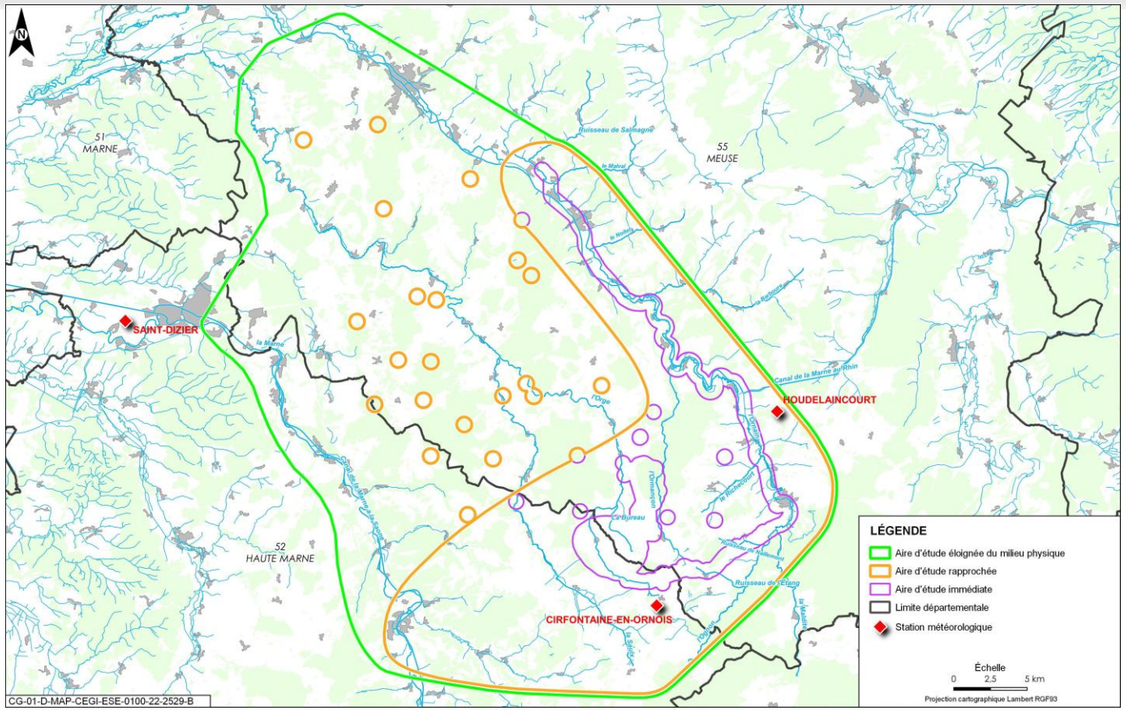


Figure 2-1 Localisation des stations météorologiques de référence

2.2 Documents de planification climat - air - énergie

2.2.1 Contexte

La France s'est dotée dès 2 000 d'objectifs et de plans stratégiques pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES) et amorcer sa transition énergétique avec le Plan national de lutte contre le changement climatique, puis à travers les Plans climats successifs. Par la suite, la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 (3) relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) a fixé l'objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre de 40 % entre 1990 et 2030 et de les diviser par 4 en 2050 par rapport à 1990 (facteur 4). La France s'est également fixée d'autres objectifs ambitieux en termes de baisse de la consommation d'énergie, de développement des énergies renouvelables, afin d'atteindre 32 % en 2030, et de diversification de son mix électrique, avec l'objectif de baisser la part du nucléaire à 50 %. Tous ces objectifs concourent à la baisse de nos émissions de gaz à effet de serre.

Au niveau international, la France s'est engagée, avec les autres pays européens, à réduire les émissions de l'Europe de 40 % en 2030 par rapport à 1990 dans le cadre de l'accord de Paris. La loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat (4) actualise les objectifs de la politique énergétique française pour tenir compte du Plan climat adopté en 2017 (5) et des travaux réalisés dans le cadre de la préparation de la Stratégie nationale bas carbone (SNBC) (6) et de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) (7).

La loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets, dite « loi Climat et résilience » (8), vise à accélérer la transition écologique de la société et de l'économie françaises. Elle s'articule autour de cinq thématiques (consommation, production et travail, déplacements, logement et artificialisation des sols et alimentation). La politique énergétique est abordée dans son titre III « Produire et travailler », où la loi prévoit notamment :

- la mise en cohérence de la stratégie nationale de la recherche avec la Stratégie nationale bas-carbone (SNBC) ;
- la modification de plusieurs dispositions du code minier ;
- la déclinaison de la Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) en objectifs régionaux de développement des énergies renouvelables.

Les objectifs actualisés sont les suivants :

- la neutralité carbone à l'horizon 2050 ;
- la baisse de 40 % de la consommation d'énergies fossiles par rapport à 2012 d'ici à 2030 (contre 30 % précédemment) ;
- l'arrêt de la production d'électricité à partir du charbon d'ici 2022 ;
- le report à 2035 (au lieu de 2025) de la réduction à 50 % de la part du nucléaire dans la production électrique (fermeture de 14 réacteurs).

Avant le 1er juillet 2023, puis tous les cinq ans, il est désormais prévu qu'une loi *« détermine les objectifs et fixe les priorités d'action de la politique énergétique nationale pour répondre à l'urgence écologique et climatique ».*

2.2.2 Les plans nationaux

Les chapitres suivants présentent les plans nationaux et leurs objectifs à atteindre à plus ou moins long terme en matière de « climat – air – énergie ». Le projet global Cigéo veillera à intégrer ces objectifs lors de sa conception, sa construction et pendant son fonctionnement.

2.2.2.1 Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE)

La Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) (7, 9), outil de pilotage de la politique énergétique, est encadrée par les articles L. 141-1 à L. 141-6 du code de l'énergie. Elle définit les modalités d'action des pouvoirs publics pour la gestion de l'ensemble des formes d'énergie sur le territoire métropolitain continental afin d'atteindre les objectifs de la politique énergétique fixée par la loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 (4) relative à l'énergie et au climat. La PPE décrit les mesures qui permettront à la France de décarboner l'énergie afin d'atteindre la neutralité carbone en 2050.

Le décret n° 2020-456 du 21 avril 2020, pris en application de l'article L. 141-1 du code de l'énergie, fixe la programmation pluriannuelle de l'énergie pour la période 2019-2028 (10).

L'objectif de la nouvelle PPE est de diminuer très fortement nos émissions de CO_2 en décarbonant notre production d'énergie *via* deux grands leviers : la réduction de notre consommation d'énergie et la diversification de notre mix énergétique.

Le tableau 2-1 synthétise les principaux objectifs chiffrés de la PPE 2019-2028 (7)

Tableau 2-1 La PPE 2019-2028 en quelques chiffres

Thématique	Objectifs chiffrés
Consommation finale d'énergie	Baisse de 7,6 % en 2023 et de 16,5 % en 2028 par rapport à 2012
Consommation primaire des énergies fossiles	Baisse de 20 % de la consommation primaire d'énergies fossiles en 2023 et de 35 % en 2028 par rapport à 2012
Émissions de gaz à effet de serre issues de la combustion d'énergie	277 $MtCO_2$ en 2023 227 $MtCO_2$ en 2028 Soit une réduction de 14 % en 2023 et de 30 % en 2028 par rapport à 2016 (322 $MtCO_2$)
Consommation de chaleur renouvelable	Consommation de 196 TWh en 2023 Entre 218 et 247 TWh en 2028 Soit une augmentation de 25 % en 2023 et entre 40 % et 60 % en 2028 de la consommation de chaleur renouvelable de 2017 (154 TWh)
Production de gaz renouvelables	Production de biogaz à hauteur de 24 TWh à 32 TWh en 2028 sous l'hypothèse d'une baisse des coûts (4 à 6 fois la production de 2017)
Capacités de production d'électricité renouvelables installées	73,5 GW en 2023, soit +50 % par rapport à 2017 101 GW à 113 GW en 2028, doublement par rapport à 2017
Capacités de production d'électricité nucléaire	4 à 6 réacteurs nucléaires fermés d'ici 2028 dont ceux de Fessenheim Fermeture de 14 réacteurs nucléaires d'ici 2035, date d'atteinte d'une part de 50 % d'électricité nucléaire dans le mix électrique
Croissance économique	Hausse de 1,3 point de PIB en 2023 par rapport au scénario tendanciel, et de 2,1 points en 2028
Emplois	Création d'environ 238 000 emplois en 2023 par rapport au scénario tendanciel et de 440 000 emplois en 2028
Revenu disponible brut des ménages	Hausse du pouvoir d'achat des ménages de 1 point en 2023, par rapport au scénario tendanciel et de 2,2 points en 2028

2.2.2.2 Stratégie nationale bas carbone (SNBC)

La Stratégie nationale bas-carbone (6), prévue par l'article L. 222-1 B du code de l'environnement décrit la feuille de route de la France pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre jusqu'à atteindre la « neutralité carbone » à l'horizon 2050. La nouvelle version de la SNBC et les budgets carbone pour les périodes 2019-2023, 2024-2028 et 2029-2033 ont été adoptés par le décret n° 2020-457 du 21 avril 2020 (11).

Le scénario prospectif d'atteinte de la neutralité carbone prévoit alors :

- à moyen terme à l'horizon 2030, un objectif de réduction de 40 % des émissions de GES. Pour cela elle impose trois « budgets carbone » :
  - ✓ budget carbone 2019-2023 : plafond de 422 $MtCO_2eq$ en moyenne annuelle ;
  - ✓ budget carbone 2024-2028 : plafond de 359 $MtCO_2eq$ en moyenne annuelle ;
  - ✓ budget carbone 2029-2033 : plafond de 300 $MtCO_2eq$ en moyenne annuelle.
- à long terme à l'horizon 2050, la neutralité carbone, à savoir l'équilibre entre les émissions de GES sur le territoire national et l'absorption de carbone par les écosystèmes et par les procédés industriels.

Pour parvenir à la neutralité carbone en 2050, la SNBC décline par secteur d'activité les objectifs de réduction des GES. Ainsi, le secteur de l'industrie doit réduire de 35 % ses émissions de GES à l'horizon 2030 et de 81 % à l'horizon 2050.

2.2.2.3 Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA)

Le Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) est instauré par l'article L. 222-9 du code de l'environnement. Il s'agit d'un dispositif national de surveillance de la qualité de l'air qui reprend des mesures déjà en vigueur ou des obligations européennes. Les objectifs nationaux de réduction des émissions de certains polluants atmosphériques pour les années 2020, 2025 et 2030, sont fixés dans le décret n° 2017-949 du 10 mai 2017 (12) – codifié dans le code de l'environnement aux articles D. 222-37 à 40. L'arrêté du 10 mai 2017 établissant un plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques approuve le plan pour la période 2017-2021, publié en mai 2017 (5). En 2021, un groupe de travail a été constitué pour débattre de sa révision.

À la suite du plan 2017-2022, un nouveau plan 2022-2025 qui définit les nouvelles mesures à mettre en œuvre pour la période 2022-2025 a ainsi été approuvé par arrêté du 8 décembre 2022 (13).

Le tableau 2-2 synthétise les principaux objectifs chiffrés de la PREPA à horizon 2030.

Tableau 2-2 Le PPE 2019-2028 en quelques chiffres

Polluant	Objectifs de réduction à partir de 2030 par rapport à 2005
Dioxyde de soufre ($S0_2$)	-77 %
Oxyde d'azote (NO_x)	-69 %
Composés organiques volatils (COVNM)	-52 %
Ammoniac (NH_3)	-13 %
Particules fines ($PM_{2,5}$)	-57 %

Le « PREPA »regroupe dans un document unique les orientations de l'État en faveur de la qualité de l'air sur les moyens et longs termes, avec une combinaison de mesures réglementaires, fiscales et incitatives dans tous les secteurs : industrie, transport, résidentiel, tertiaire, agriculture (14).

Pour le secteur de l'industrie, il prévoit de renforcer les exigences réglementaires et leur contrôle pour réduire les émissions d'origine industrielle, notamment *via* une augmentation des contrôles des installations classées pour l'environnement (ICPE) dans les zones les plus polluées et pour les installations les plus émettrices.

Le « PREPA » établit les mesures sectorielles les plus efficaces en termes de réduction des émissions de dioxyde de soufre (SO_2), d'oxydes d'azote (Nox), de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), d'ammoniac (NH_3) et les particules de diamètre inférieur à 2,5 µm ($PM_{2,5}$). Dans les secteurs de l'industrie et des transports, il s'agit essentiellement de renforcer les exigences réglementaires et leur contrôle pour réduire les émissions de polluants. Cela se traduit par :

- l'application des meilleures techniques disponibles ;
- le renforcement de la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP) sur les émissions de polluants atmosphériques ;
- la mise en place de plans de mobilité par les entreprises et les administrations ;
- la réduction des pollutions liées aux engins mobiles non routier (EMNR), c'est-à-dire les engins autorisés à utiliser du gazole non routier, soit principalement les engins de chantiers, les engins agricoles et les bateaux de plaisance.

2.2.2.4 Stratégie nationale de mobilisation de la biomasse

Cette stratégie prévue par l'article L. 211-8 du code de l'énergie a pour vocation de développer les externalités positives liées à la mobilisation et à l'utilisation accrue de la biomasse, notamment pour l'atténuation du changement climatique :

- la valorisation de la biomasse en énergie permet une utilisation moindre d'énergies fossiles (effet de substitution) ;
- la mobilisation de la biomasse et du bois, en particulier, s'articule avec la gestion durable de la ressource et ainsi à l'augmentation de son potentiel de captage du carbone (stockage net du carbone) ;
- la France possédant une importante ressource en biomasse, la présente stratégie a également pour objectif de permettre une meilleure indépendance énergétique du pays ;
- la résilience économique agricole et forestière, par le développement de filières compétitives et rémunératrices, pour les producteurs ainsi que pour l'ensemble de la chaîne de valeur.

La stratégie est adoptée par arrêté conjoint des ministres chargés de l'agriculture, de la forêt, de l'environnement, de l'énergie, de la construction et de l'industrie. Elle n'est pas prescriptive et n'a donc pas de portée juridique particulière du type « compatibilité » ou « conformité ».

2.2.2.5 Plan national santé environnement (PNSE)

L'élaboration d'un Plan national de prévention des risques pour la santé et l'environnement, sa déclinaison en régions et sa mise à jour tous les cinq ans est prévue par le code de la santé publique (article L. 1311-6 du code de la santé publique).

Le Plan national santé-environnement vise à programmer et à organiser un ensemble d'actions de nature à prévenir ou à faire cesser les atteintes environnementales à la santé humaine, notamment les pollutions de l'air, de l'eau ou des sols et l'exposition des populations à des facteurs toxiques.

Il comprend des mesures relatives à la réduction de substances toxiques dans l'air (benzène et composés organiques volatils associés, hydrocarbures aromatiques polycycliques, etc.), des mesures « santé transports » qui visent en particulier une meilleure prise en compte de l'impact sur la santé des différents modes de transport et encouragent le développement des modes de transport sains et actifs (marche, vélo, etc.) et des mesures concernant la lutte contre les « points noirs environnementaux », qui correspondent aux zones où se concentre une surexposition à des facteurs environnementaux.

Le Plan national santé environnement en vigueur (PNSE4), qui couvre la période 2021-2025, a été lancé le 7 mai 2021 (15). Ce quatrième plan est le fruit d'une concertation menée depuis janvier 2019 avec l'ensemble de parties prenantes.

Il s'articule autour de quatre grands axes :

- axe 1 : s'informer, se former et informer sur l'état de mon environnement et les bons gestes à adopter ;
- axe 2 : réduire les expositions environnementales affectant notre santé ;
- axe 3 : démultiplier les actions concrètes menées par les collectivités dans les territoires ;
- axe 4 : mieux connaître les expositions et les effets de l'environnement sur la santé des populations.

Les actions prévues par ce plan sont à destination des administrations et collectivités territoriales. C'est à travers des plans régionaux santé environnement qu'elles peuvent s'appliquer aux porteurs de projets industriels et d'aménagement.

Le premier rapport d'avancement du plan 2021-2022 (16) publié en octobre 2022 montre des avancées notables : 98 % des actions prévues dans le PNSE4 sont en cours ou déjà terminées, soit 94 % des sous-actions en cours de réalisation et 4 % des sous-actions terminées. Seulement 2 % des sous-actions sont en retard ou n'ont pas encore été entamées. Côté financement, 76 millions d'euros ont déjà été dépensés, pour un budget prévisionnel de 177 millions d'euros sur les cinq années.

2.2.3 Les plans locaux

Les plans nationaux présentés ci-avant sont ensuite déclinés à l'échelle locale afin d'être adaptés aux enjeux territoriaux.

2.2.3.1 Plan climat air énergie territorial (PCAET)

Le Plan climat air énergie territorial (PCAET) est un outil de planification, à la fois stratégique et opérationnel, qui permet aux collectivités d'aborder l'ensemble de la problématique climat-air-énergie sur leur territoire. Il a pour but d'atténuer le changement climatique, de développer les énergies renouvelables et maîtriser la consommation d'énergie. Il impose également de traiter le volet spécifique de la qualité de l'air.

Ce plan est obligatoire pour l'ensemble des intercommunalités de plus de 20 000 habitants à l'horizon du 1er janvier 2019.

Un PCAET est en cours d'élaboration à l'échelle du Pays Barrois. Le diagnostic et la stratégie territoriale ont été finalisés et adoptés, le programme qui comprend 73 actions est en cours de réalisation (17). Le PCAET du Pays Barrois a fait l'objet d'un avis de la MRAe le 17 mars 2023 (avis n° 2023AGE23 (18)).

Le territoire couvert par le PCAET englobe les communautés de communes de Bar-le-Duc sud Meuse (obligation d'élaboration d'un PCAET), des Portes de Meuse et du Pays de Revigny (élaborations volontaires du Plan climat air énergie territorial) (19).

Le PCAET se découpe en trois parties avec :

- la stratégie du Plan Climat Air Energie du Pays Barrois ;
- les objectifs chiffrés à 2030 et 2050 ;
- la stratégie du Plan climat air énergie, découpée en trois axes :
  - ✓ aménager, construire et rénover : l'urbanisme et l'aménagement en appui à la transition écologique ;
  - ✓ accompagner l'évolution des filières économiques ;
  - ✓ agir ensemble.

Ainsi grâce à la mise en place de la stratégie du PCAET, le scénario volontariste permettrait :

- une baisse de la consommation énergétique de -22 % en 2030 et -54 % en 2050 ;
- une baisse des émissions de gaz à effet de serre de -31 % en 2030 et -70 % en 2050 ;
- une augmentation de la production renouvelable de +56 % en 2030 et +194 % (x3) en 2050 ;
- un territoire à énergie positive à horizon 2032, soit huit ans plus tôt qu'avec le scénario tendanciel.

2.2.3.2 Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires (SRADDET) Grand Est

2.2.3.2.1 Présentation générale

Le SRADDET est un document de planification qui, à l'échelle régionale, précise la stratégie, les objectifs et les règles fixées par la Région dans plusieurs domaines de l'aménagement du territoire.

Il fixe les objectifs de moyens et longs termes de la région en matière :

- d'équilibre et d'égalité des territoires ;
- d'implantation des différentes infrastructures d'intérêt régional ;
- de désenclavement des territoires ruraux ;
- d'habitat ;
- de gestion économe de l'espace ;
- d'intermodalité et de développement des transports ;
- de maîtrise et de valorisation de l'énergie, de lutte contre le changement climatique et la pollution de l'air ;
- de protection et de restauration de la biodiversité ;
- de prévention et de gestion des déchets.

Il s'inscrit dans la continuité des anciens schémas régionaux climat air énergie (SRCAE) et dans le respect des objectifs fixés par la loi pour la transition énergétique et la croissante verte (TECV) ainsi que la stratégie nationale bas carbone (SNBC), la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) ou encore le Plan de réduction des polluants atmosphériques (PREPA). Il poursuit des objectifs d'atténuation et d'adaptation au changement climatique.

Il se substitue aux schémas de planifications sectoriels actuellement en vigueur suivants (cf. Figure 2-2) :

- Schéma régional de cohérence écologique (SRCE) ;
- Schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE) ;
- Schéma régional de l'intermodalité (SRI) ;
- Schéma régional des infrastructures et des transports (SRIT) ;
- Plan régional de prévention et de gestion des déchets (PRPGD).

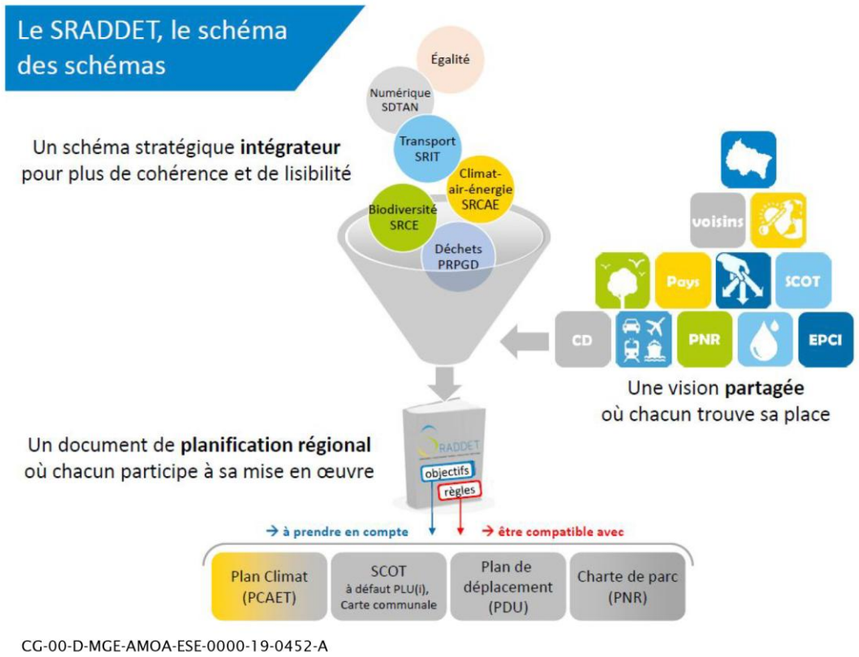
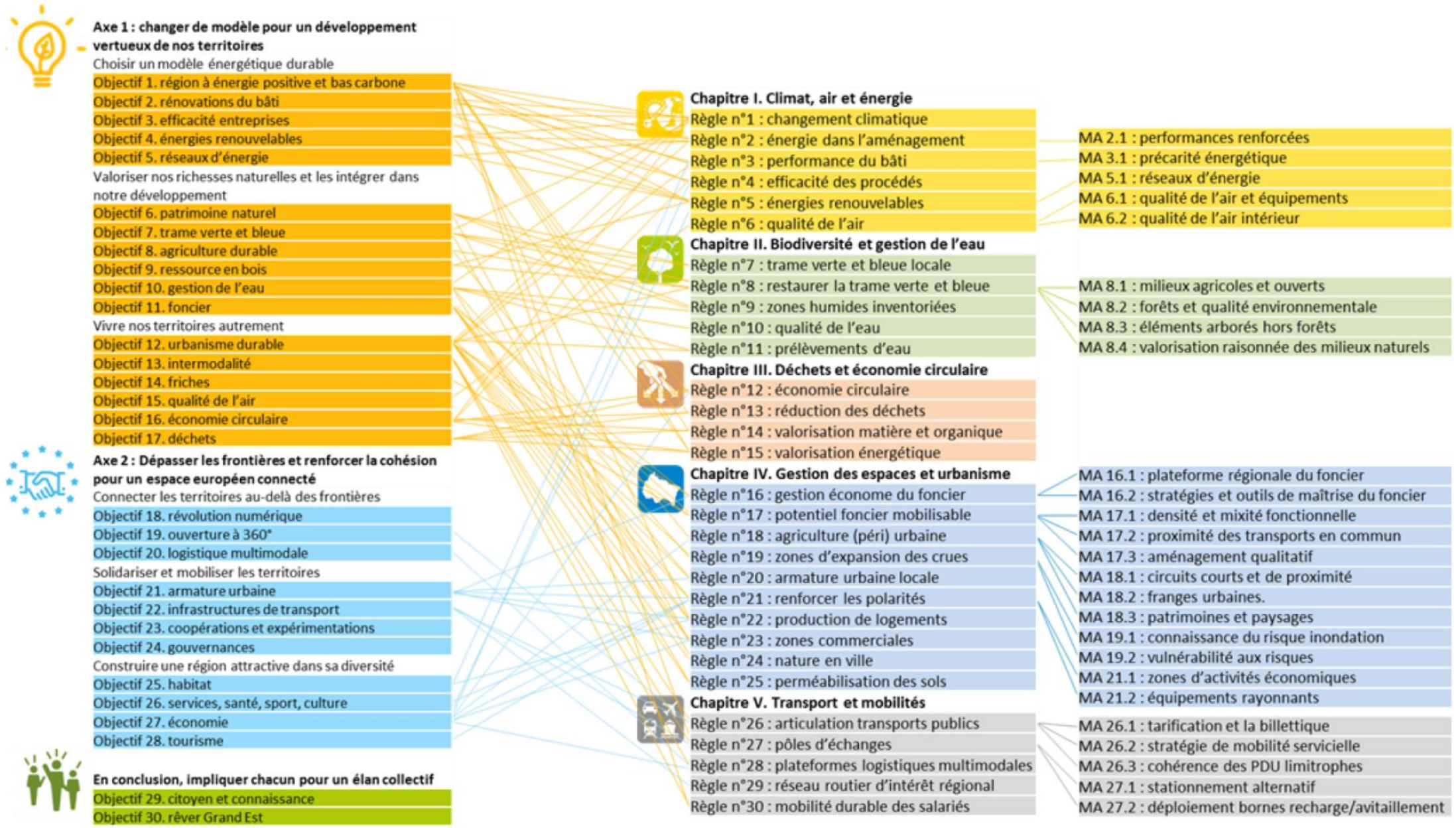


Figure 2-2 SRADDET, le schéma des schémas

Le SRADDET de la région Grand Est a été approuvé le 24 janvier 2020 (20).

Il fixe 30 objectifs, présentés sur la figure 2-3, organisés autour de deux axes stratégiques qui sont « *Changer de modèle pour un développement vertueux de nos territoires* » et « *Dépasser les frontières et renforcer la cohésion pour un espace européen connecté* » en « *Impliquant chacun pour un élan collectif* ».



CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0453-A

Figure 2-3 Axes, règles et mesures d'accompagnement présentés dans le SRADDET Grand Est (20)

2.2.3.2.2 Chapitre Climat-Air-Énergie

Le SRADDET fixe les objectifs de moyens et longs termes de la région dans le domaine de la maîtrise et de valorisation de l'énergie, de lutte contre le changement climatique et la pollution de l'air et se substitue notamment au schéma régional du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE).

Le chapitre « Climat-Air-Energie » du SRADDET est composé de six règles qui concernent :

- le changement climatique ;
- l'énergie dans l'aménagement ;
- la performance du bâti ;
- l'efficacité des procédés ;
- les énergies renouvelables ;
- la qualité de l'air.

Pour cette thématique, la région Grand Est ambitionnée de :

- réduire la consommation énergétique finale de 29 % en 2030 et 55 % en 2050 ;
- réduire la consommation en énergie fossile de 48 % en 2030 et 96 % en 2050 ;
- couvrir la consommation par les énergies renouvelables et de récupération de 41 % en 2030 et 100 % en 2050 ;
- réduire les émissions de gaz à effet de serre de 54 % en 2030 et 77 % en 2050 ;
- réhabiliter 100 % du parc résidentiel en bâtiment basse consommation (BBC) d'ici 2050 ;
- respecter les lignes directrices de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) d'ici 2030 sur la concentration en particules fines et ultrafines (20 µg/m³ en moyenne annuelle pour les PM_{10}, au lieu de 40 µg/m³ dans la réglementation française) ;
- réduire à la source les émissions de polluants, en lien avec les objectifs nationaux du Plan de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) en prenant pour cible les objectifs issus de la scénarisation climat-air-énergie à horizon 2030 : réduction de 84 % des SO_2, de 72 % des NOx, de 14 % des NH^3, de 56 % des $PM_{2,5}$ et de 56 % des COVNM (Composés organiques volatils non méthaniques).

Les règles et les mesures d'accompagnements qui permettront d'atteindre les objectifs en matière de « climat-air-énergie » sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2-3 Règles et mesures du chapitre climat-air-énergie du SRADDET Grand Est

Règle	Mesure d'accompagnement
1. Atténuer et s'adapter au changement climatique	/
2. Intégrer les enjeux climat-air-énergie dans l'aménagement	1.1. Conditionner l'urbanisation à l'atteinte de performances environnementales et énergétiques renforcées
3. Améliorer la performance énergétique du bâti existant	3.1. Lutter contre la précarité énergétique
4. Rechercher l'efficacité énergétique des entreprises	/
5. Développer les énergies renouvelables et de récupération	5.1. Adapter et optimiser les réseaux d'énergie
6. Améliorer la qualité de l'air	6.1. Prendre en compte la qualité de l'air dans la localisation des équipements
	6.2. Améliorer la qualité de l'air intérieur

2.2.3.3 Plan régional santé environnement (PRSE) Grand Est

Le Plan régional santé environnement (PRSE) constitue le cadre de référence de l'action en santé environnement. Il vise à promouvoir un environnement favorable à la santé en agissant sur tous les moments de la vie quotidienne. Le PRSE est porté conjointement par l'État, le Conseil régional et l'Agence régionale de santé. Outre le fait de décliner régionalement tout ou partie des actions définies dans le PNSE, le PRSE peut définir des actions régionales spécifiques.

Le PRSE Grand Est pour la période 2017-2021 (PRSE3) (21) a été signé le 9 novembre 2017 (22).

Élaboré dans une dynamique partenariale avec les acteurs locaux de la santé environnementale, le PRSE3 Grand Est vise à promouvoir un environnement favorable à la santé des citoyens, en développant des actions autour des trois axes suivants :

- des activités humaines préservant l'environnement et la santé ;
- un cadre de vie et de travail favorable à la santé ;
- les clés pour agir en faveur de la santé environnement au quotidien.

Le bilan du PRSE3 est paru en décembre 2022 (23). Le PRSE4, couvrant la période 2023-2027, est en cours d'élaboration.

2.2.3.4 Plan de protection de l'atmosphère (PPA)

Les Plans de protection de l'atmosphère (PPA) permettent de planifier des actions pour reconquérir et préserver la qualité de l'air dans les agglomérations de plus de 250 000 habitants et les zones où les valeurs limites réglementaires nationales sont dépassées ou risquent de l'être, comme en Île-de-France.

Les communes de l'aire d'étude rapprochée ne sont pas concernées par les PPA car leur population est inférieure à 250 000 habitants.

2.2.3.5 Schéma régional de biomasse Grand Est

Le Schéma régional biomasse (SRB) définit les objectifs de développement de l'énergie biomasse. Il détermine les orientations et actions à mettre en œuvre pour favoriser le développement des filières de production et de valorisation de la biomasse susceptibles d'avoir un usage énergétique, en veillant au respect de la multifonctionnalité des espaces naturels, notamment les espaces agricoles et forestiers. Il veille en particulier à atteindre le bon équilibre régional et la bonne articulation des différents usages du bois, afin d'optimiser l'utilisation de la ressource dans la lutte contre le changement climatique.

Ce schéma est élaboré, conformément à l'article L. 222-3-1 du code de l'environnement conjointement par le président du conseil régional et le préfet de région.

Le schéma régional de biomasse Grand Est (24), a été approuvé par le conseil régional le 10 septembre 2021 et arrêté par le préfet de région le 20 octobre 2021.

Le contenu du schéma régional biomasse se répartit en deux volets :

- un rapport de diagnostic, qui dresse l'état des lieux des gisements de biomasse, les volumes actuels consommés et les potentiels de mobilisation de la biomasse aux horizons 2023, 2030 et 2050. Sur le bois et les déchets, le SRB reprend les objectifs de mobilisation, dans leurs domaines respectifs, du programme régional de la forêt et du bois 2018-2027 (PRFB) (25) validé le 23 septembre 2019 et du Plan régional de prévention et de gestion des déchets 2019-2031 (PRPGD) approuvé le 17 octobre 2019 (26). La biomasse majoritaire est la biomasse bois issue de la forêt qui représente 50 % de la biomasse actuellement produite en région Grand Est. Viennent ensuite les résidus de cultures (16 %) puis les produits connexes de scierie (12 %) ;

- un document d'orientation, qui définit les objectifs quantitatifs de mobilisation de la biomasse aux horizons 2023, 2030 et 2050 et un plan de 32 actions pour les atteindre, classées en trois grandes orientations :
  - ✓ approfondir et diffuser les connaissances sur la filière bois (cinq actions) ;
  - ✓ améliorer la mobilisation des biodéchets (six actions) ;
  - ✓ agir en faveur d'une méthanisation durable (21 actions).

Les orientations et les actions du Schéma régional de biomasse Grand Est sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2-4 Orientations et objectifs du Schéma régional de biomasse Grand Est

Orientation – Axe		Action
Orientation 1 : Approfondir et diffuser les connaissances sur la filière bois		BF1- Promouvoir l'utilisation locale de la biomasse ligneuse
		BF2 - Améliorer le suivi des projets de chaufferies ne passant pas par des aides ou par la Cellule biomasse
		BF3 - Améliorer la traçabilité et le contrôle de la qualité des approvisionnements en bois déchiqueté
		BF4 - Sensibiliser et former des élus, propriétaires privés et maîtres d'ouvrage au bois énergie
		BF5 - Étudier les conditions de développement et de l'utilisation de la biomasse issue de bois agricoles
Orientation 2 : Améliorer la mobilisation des biodéchets		BD1 - Favoriser les échanges entre les producteurs de biodéchets et les organismes de collecte
		BD2 - Animer un réseau de collectivités sur la collecte séparée des biodéchets
		BD3 - Communiquer, sensibiliser, informer sur le tri des déchets
		BD4 - Contrôler et faire appliquer la réglementation relative au tri des déchets (bois et biodéchets)
		BD5 - Équiper des méthaniseurs d'hygiéniseurs pour accepter les biodéchets
		BD6 - Configurer un observatoire des biodéchets
Orientation 3 : Agir en faveur de la méthanisation durable	**Axe 1 – Accompagner les porteurs de projets**	BM1 - Organiser les échanges entre les acteurs de la filière de la méthanisation
		BM2 - Développer et promouvoir la formation
		BM3 - Développer les infrastructures de réseaux de gaz et le GNV/bioGNV dans un contexte de développement durable
		BM4 - Faire porter la voix du territoire régional au niveau national
		BM5 - Former, accompagner et mobiliser les élus des collectivités dans la promotion de la filière
		BM6 - Aider à l'émergence de projet
		BM7 – Promotion et déploiement régional d'un label qualité
		BM8 - Développer la communication sur la méthanisation vers le grand public
	Axe 2 : Sécuriser les intrants en conservant des pratiques raisonnées	BM9 - Former et communiquer sur les bonnes pratiques de production de la biomasse
		BM10 - Structurer et renforcer le suivi dynamique des bonnes pratiques agricoles
		BM11 - Développer la visibilité des gisements existants
		BM12 -Encourager la sécurisation des plans d'approvisionnement
	Axe 3 : Améliorer la gestion des digestats	BM13 - Former et communiquer sur les bonnes pratiques d'épandage
		BM14 - Structurer et renforcer le suivi dynamique des pratiques d'épandage
		BM15 - Développer la recherche sur la préparation et l'utilisation des digestats
		BM16 - Encourager les capacités de stockage des digestats
	Axe 4 : Maximiser la création de valeur sur le territoire	BM17- Structurer et renforcer le suivi dynamique technico-économique de la filière
		BM18 - Lancer un appel à projets
		BM19 - Encourager le financement alternatif dans les projets
		BM20 - Encourager le développement d'externalités positives et de l'économie circulaire
		BM21 - Développer l'innovation

2.2.3.6 Schéma de cohérence territoriale (SCoT) du Pays Barrois

Le Schéma de cohérence territoriale (SCoT) est un outil d'urbanisme et de planification stratégique intercommunale au service des collectivités territoriales destiné à servir de cadre de référence pour les différentes politiques sectorielles, notamment celles centrées sur les questions d'habitat, de déplacements, de développement commercial, d'environnement, d'organisation de l'espace…

Le SCoT du Pays Barrois, qui couvre le projet global Cigéo, a été approuvé le 19 décembre 2014 (27). La problématique du changement climatique est au cœur de sa stratégie. À ce titre, le projet d'aménagement et de développement durable (PADD) fixe notamment comme objectif la conservation d'une bonne qualité de l'air (objectif 2.5) et la lutte contre le réchauffement climatique (objectif 2.6) qui se traduisent par les mesures suivantes dans le document d'orientation et d'objectifs (DOO) :

- encourager les démarches de certifications environnementales des industries pour lutter contre les rejets de cheminées d'industries ;
- lutter contre l'étalement urbain ;
- favoriser le recours aux énergies renouvelables.

Un certain nombre d'actions a déjà été engagé dans le cadre du plan climat territorial du Pays Barrois (voir ci-après).

2.2.3.7 Plan climat territorial (PCT) du Pays Barrois

Un Plan climat territorial (PCT) est un cadre volontaire pour tout territoire afin d'y regrouper et d'y rendre visible l'ensemble de ses politiques visant la réduction des émissions de gaz à effet de serre. C'est une démarche de développement durable axée sur l'effet de serre, qui permet de mobiliser l'ensemble des partenaires et des acteurs locaux de la collectivité.

Depuis 2008, le syndicat Mixte du Pays Barrois anime un plan climat territorial pour réduire la dépendance du territoire aux énergies fossiles, produire des énergies renouvelables et diminuer les émissions de gaz à effet de serre.

Le but du Plan climat territorial du Pays Barrois (19) est d'anticiper les crises climatiques en divisant par quatre les rejets des émissions de gaz à effet de serre sur le territoire, à l'horizon 2050. Il a été élaboré à partir d'un état des lieux des émissions de gaz à effet de serre sur son territoire, réalisé en 2007.

Un bilan carbone intermédiaire a été réalisé en 2012, celui-ci montre une diminution de 9 % des émissions de gaz à effet de serre depuis 2007 (28).

La mise en œuvre du PCT vise à :

- préserver les ressources naturelles et lutter contre l'effet de serre ;
- garantir le développement économique local et l'emploi en favorisant l'émergence de nouvelles filières d'emplois ;
- réduire les dépenses des collectivités ;
- lutter contre la précarité énergétique (permettre à tout le monde un confort minimum à travers l'isolation des logements, par exemple) ;
- réduire la vulnérabilité énergétique et climatique du territoire (contre les prix élevés de l'énergie et les crises d'approvisionnement) ;
- renforcer l'attractivité du territoire (image du territoire, qualité de vie).

Il a notamment permis d'identifier les potentialités de développement des filières énergétiques renouvelables :

- la filière bois-énergie, qui dispose d'une marge de développement encore importante ;
- les ressources géothermales, qui présentent un fort potentiel au niveau des sous-sols calcaires du Tithonien à l'est et au nord du Pays Barrois ;
- le potentiel éolien, qui bénéficie déjà d'une exploitation importante.

Le programme est animé par un chargé de mission qui conseille et accompagne techniquement les collectivités locales dans leurs projets, pour permettre la réalisation des objectifs de réduction des gaz à effet de serre sur le territoire.

2.2.4 Synthèse sur les documents de planification climat – air – énergie

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 et règlements qui se déclinent en documents de planification au niveau national et au niveau local.

Tous ces documents visent une baisse importante des émissions anthropiques de 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.

Ces objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'autres polluants atmosphériques ont été intégrés à la conception du projet global Cigéo, et ont également vocation à être pris en compte lors de sa construction et pendant son fonctionnement.

2.3 Conditions météorologiques locales

Le climat actuel régional est de type continental marqué par l'influence de passages de perturbations arrivant de l'océan par le sud-ouest. Le climat continental, plus sec que le climat océanique, présente des saisons bien marquées avec un grand écart de températures entre l'été et l'hiver. L'influence océanique adoucit ce climat en installant des masses d'air plus humides et plus tempérées presque un jour sur trois.

2.3.1 Précipitations

PRÉCIPITATIONS

Sont dénommées précipitations, toutes les formes physiques de l'eau de l'atmosphère qui tombent sur la surface de la terre. Toute précipitation nécessite la condensation de la vapeur d'eau : lorsque les gouttelettes d'eau des nuages ont assez grandi, elles deviennent trop lourdes pour être supportées dans le nuage ; elles se mettent donc à chuter vers la terre.

Les précipitations peuvent tomber sous trois formes :

- les précipitations liquides comme la pluie et la bruine ;
- les précipitations solides telles que la neige, le grésil, la grêle, la pluie verglaçante ;
- les précipitations déposées ou occultes que sont la rosée, la gelée blanche, le givre.

2.3.1.1 Cumul annuel de précipitations

Les cumuls annuels moyens des précipitations à Houdelaincourt, Saint-Dizier et Cirfontaines-en-Ornois sont indiqués dans le tableau 2-5.

Tableau 2-5 *Cumuls annuels de précipitations à Houdelaincourt, Saint-Dizier et Cirfontaines-en-Ornois (2012-2019)*

Années	Houdelaincourt (mm)	Saint-Dizier (mm)	Cirfontaines-en-Ornois (mm)
2012	904	710	888
2013	1 014	942	1 030[2]
2014	744	783	816
2015	715	621	718
2016	884	807	957
2017	800	831	830
2018	854	717	941
2019	824	693	788
Cumul annuel moyen	**842**	**763**	**871**

Les stations d'Houdelaincourt et de Cirfontaines-en-Ornois sont plus représentatives des précipitations locales que Saint-Dizier car elles sont plus proches du projet global Cigéo et à une altitude comparable. Elles montrent un cumul annuel moyen sur la période 2012-2019 légèrement supérieur à 850 mm.

Les hauteurs de précipitation moyennes annuelles françaises varient de 500 mm pour les régions les plus sèches (côtes méditerranéennes, Anjou, Bassin parisien) à plus de 1 500 mm pour les régions de montagne. Le cumul annuel moyen à Houdelaincourt se situe dans la moitié inférieure de cette fourchette.

Le cumul annuel varie de façon similaire entre les stations. Depuis 2012, l'amplitude maximum de la variation est de 300 mm à la station d'Houdelaincourt, soit environ un tiers du cumul annuel de précipitations. Le minimum est de 715 mm en 2015 et le maximum est de 1 014 mm en 2013. Cette année est en effet marquée par un cumul de précipitations important.

La station de Saint-Dizier présente une chronique de précipitations plus longue (1980-2019) (cf. Figure 2-4). Sur cette période, le cumul annuel moyen des précipitations est de 824 mm.

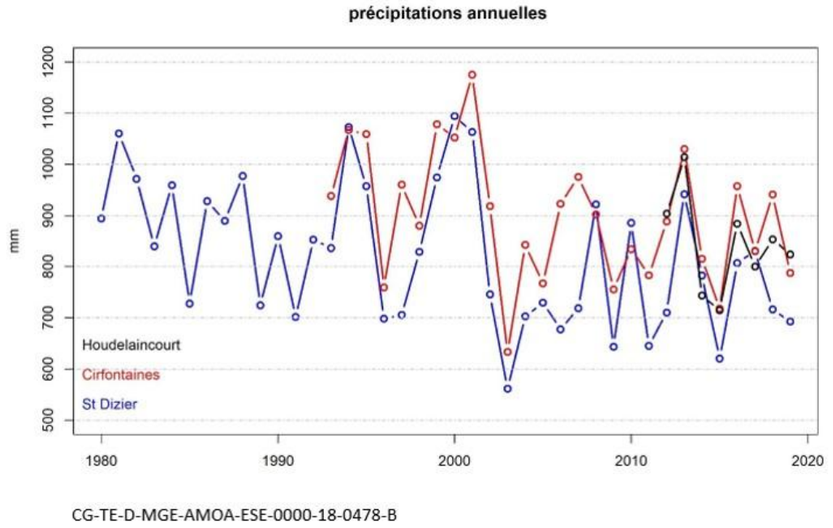


Figure 2-4 *Évolution du cumul annuel moyen de précipitations à Houdelaincourt, à Cirfontaines et à Saint-Dizier (1980-2019)*

2.3.1.2 Variations mensuelles des précipitations

La figure 2-5 présente le cycle saisonnier moyen des précipitations mensuelles de la station d'Houdelaincourt et de Saint-Dizier pour la période 2012-2019. Les données de la station de Cirfontaines-en-Ornois ne sont pas présentées car similaires à celles de Houdelaincourt. Il indique pour Houdelaincourt que le mois le plus pluvieux est le mois de novembre, suivi de janvier puis de mai, avec des précipitations de l'ordre de 85 mm à presque 100 mm Le mois le plus sec est le mois de juillet, suivi des mois de février à avril à Houdelaincourt avec environ 50 mm de pluie. À Saint-Dizier, les précipitations sont plus équitablement réparties tout au long de l'année avec un déficit plus marqué également de février à avril et un maximum en octobre. La situation plus vallonnée et plus en altitude d'Houdelaincourt apporte plus de variabilité des précipitations.

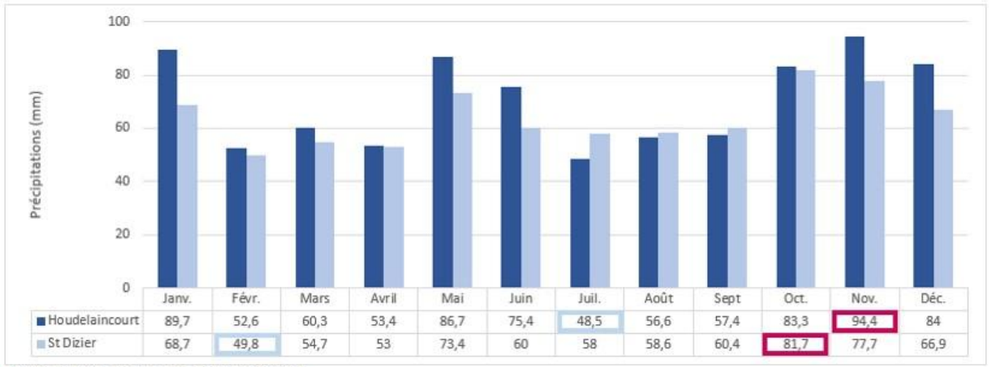


Figure 2-5 *Moyennes des précipitations mensuelles (mm) à Houdelaincourt et Saint-Dizier pour la période 2012-2019*

[2] Les données de précipitations mensuelles pour les mois de novembre et décembre 2013 de la station de Cirfontaines sont manquantes. Ces valeurs manquantes ont été estimées à partir de la moyenne climatologique de chaque mois complété de l'anomalie moyenne des stations proches (Villers le sec, Sailly, Grand, Erneville aux bois, Chevillon, Boviolles, Biencourt, Bazincourt, Aillianville, Maxey et Houdelaincourt). En novembre 2013 l'anomalie moyenne est de 47 mm et en décembre 2013 elle est de 56,5 mm. Le cumul moyen de novembre et de décembre à Cirfontaines est en moyenne sur la période 1993-2019 de respectivement 80,6 mm et de 88,3 mm. Ainsi les cumuls mensuels manquants de novembre et de décembre 2013 à Cirfontaines sont respectivement estimés aux valeurs de 127,6 mm et 131,8 mm. Il est alors possible d'estimer le cumul annuel de 2013 pour Cirfontaines : 1 030 mm.

Le nombre moyen de jours pluvieux par mois est présenté dans le tableau 2-6 pour la station de Saint-Dizier, sur la période 1981-2010. En moyenne ont été enregistrés 131 jours de pluie par an, dont 24 avec des pluies dont le cumul journalier est supérieur à 10 mm. Les jours de pluies sont répartis de manière assez régulière tout au long de l'année : entre 9 et 13 jours de pluies supérieures à 1 mm chaque mois et 1,6 jours à 2,8 jours de pluies supérieures à 10 mm. Le mois de décembre compte le plus de jours pluvieux avec le cumul quotidien le plus important.

*Tableau 2-6 Nombre de jours pluvieux moyen par mois à Saint-Dizier (1981 - 2010)**

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Rr[3] > = 1 mm	12,2	10,6	11,8	10,4	11,0	10,3	9,6	9,0	9,6	11,4	12,2	13,1	131,1
Rr > = 10 mm	1,9	1,6	1,6	1,6	2,3	1,9	2,2	2,1	2,1	2,3	1,8	2,8	24,3

(*) La période de temps présentée dans ce tableau (1981-2010) n'est pas identique à celle prise en compte dans les résultats précédents (2012-2019), car les sources des données sont différentes : les données climatiques sont calculées sur des périodes de 30 ans.

2.3.1.3 Statistiques quotidiennes et évènements extrêmes

Les données concernant les évènements extrêmes sont disponibles à Saint-Dizier (cf. Figure 2-8) sur la période 1954-2020.

Les hauteurs quotidiennes maximales de précipitations en mm enregistrées sur la période d'avril 1954 à septembre 2020 à la station de Saint-Dizier sont présentées dans le tableau 2-7. Un record maximum de 100 mm a été enregistré le 11 septembre 2005. La hauteur maximale la plus basse (30,7 mm) a été enregistrée en avril 1983.

Tableau 2-7 Hauteurs quotidiennes maximales de précipitations (mm) enregistrées à Saint-Dizier (avril 1954- septembre 2020)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total annuel
Rr (mm)	31,1	51,6	32,4	30,7	45,8	73,2	69,9	58,1	100	66	33,6	43,2	100
Jour an	12-1962	25-1997	16-1978	08-1983	08-2004	23-1974	05-1972	15-2010	11-2005	28-1998	02-2002	30-1978	2005

Le tableau 2-8 rapporte les nombres moyens de jours ayant connu un épisode de brouillard, d'orage, de grêle ou de neige à la station de Saint-Dizier en moyenne entre 1981 et 2010.

Les phénomènes orageux se produisent essentiellement entre juin et août avec en moyenne quatre à cinq jours d'orages durant cette saison.

Les épisodes neigeux se produisent entre novembre et avril avec une moyenne de 4,4 jours de neige par mois en janvier. L'absence de nombre en février ne signifie pas l'absence d'épisodes neigeux mais que les données recueillies n'ont pas permis d'établir de moyenne.

Les épisodes de brouillard apparaissent toute l'année avec en moyenne autour de cinq à six jours d'octobre à janvier et en moyenne environ deux jours de mai à août.

[3] Rr : cumul quotidien de précipitations en mm

*Tableau 2-8 Nombre moyen de jour de brouillard, d'orage, de grêle ou de neige à Saint-Dizier (1981-2010)**

	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Brouillard	4,9	4,0	3,3	2,9	2,0	1,9	1,8	2,2	4,2	5,6	6,3	-
Orage	0,1	0,3	0,8	-	-	4,7	4,7	4,3	-	1,0	0,2	-
Grêle	-	0,2	0,6	0,3	0,4	0,1	0,1	0	0,1	0	0,1	-
Neige	4,4	-	2,4	0,6	0	0	0	0	0	0	1,9	-

(-) données manquantes (liées à des problèmes d'instrumentation)

(*) La période de temps présentée dans ce tableau (1981-2010) n'est pas identique à celle prise en compte dans les résultats précédents (2012-2019), car les sources des données sont différentes : les données climatiques sont calculées sur des périodes de 30 ans.

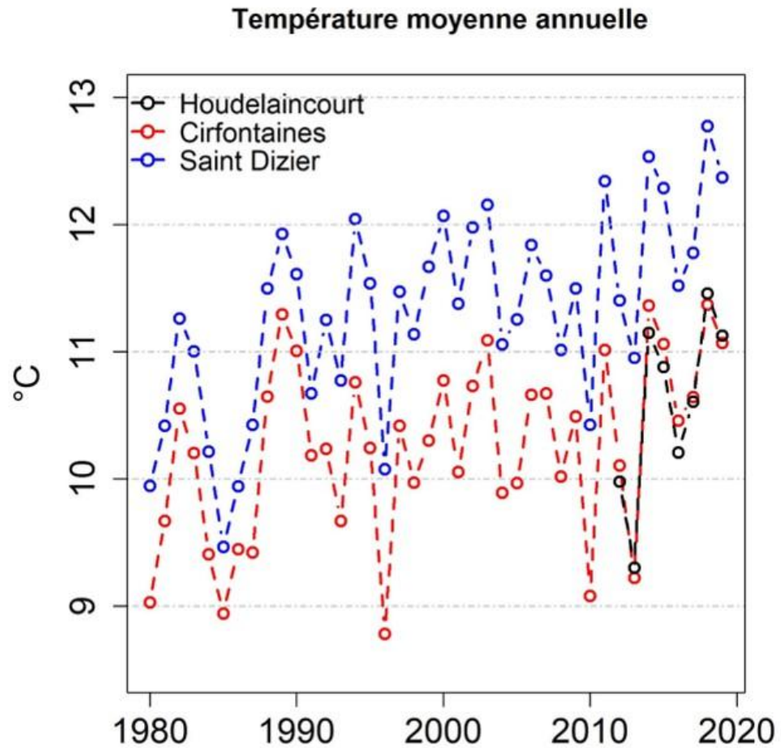
2.3.2 Températures

TEMPERATURE

Pour déterminer la grandeur physique de la température, plusieurs échelles ont été définies. En France et dans la majorité des pays, le degré Celsius est utilisé. Le 0 °C de cette échelle correspond au point de congélation de l'eau, et le 100 °C au point d'ébullition de l'eau. La température est habituellement mesurée avec un thermomètre.

2.3.2.1 Températures moyennes

L'évolution des températures moyennes annuelles à Saint-Dizier, Cirfontaines et Houdelaincourt est présentée sur la figure 2-6. La température moyenne annuelle sur la période 1980-2019 est de 11,3 °C. à Saint Dizier et de 10,25 °C à Cirfontaines. Les températures les plus élevées sont enregistrées en juillet et août et les plus basses en janvier et février. À Saint Dizier, le cycle annuel présente une amplitude moyenne de 16,6 °C et l'amplitude thermique journalière moyenne est plus importante en été (11,3 °C en août) qu'en hiver (5,4 °C en décembre).



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0479-B

Figure 2-6 *Évolution des températures moyennes annuelles (en degrés °C) mesurées à Saint-Dizier (1980-2019), à Cirfontaines (1980-2019) et à Houdelaincourt (2012-2019)*

La comparaison des températures moyennes annuelles mesurées entre 2012 et 2019 à Saint-Dizier et à Houdelaincourt est présentée dans le tableau 2-9. Les résultats indiquent une température moyenne annuelle plus élevée à Saint-Dizier. Ce phénomène s'explique notamment par les différences topographiques existantes entre Saint-Dizier et Houdelaincourt.

Tableau 2-9 *Températures moyennes annuelles enregistrées à Saint-Dizier et à Houdelaincourt (2012-2019)*

Année	Température moyenne annuelle Saint-Dizier (°C)	Température moyenne annuelle Houdelaincourt (°C)
2012	11,4	10,0
2013	11	9,3
2014	12,5	11,1
2015	12,3	10,9
2016	11,5	10,2
2017	11,8	10,6
2018	12,8	11,5
2019	12,4	11,1
Moyenne annuelle	**11,9**	**10,6**

2.3.2.2 Statistiques quotidiennes et évènements extrêmes

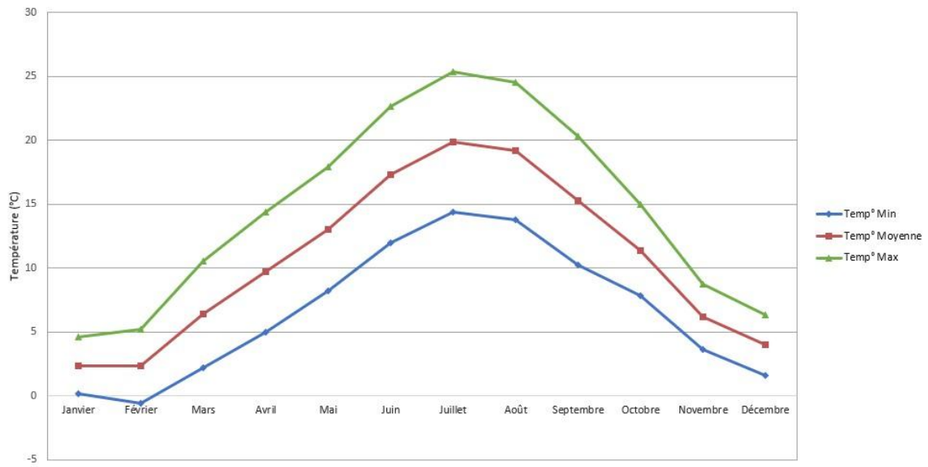
À Saint-Dizier, les températures maximales ont atteint 41,4 °C en juillet 2019 et 40,4 °C en août 2003 (en rouge dans tableau 2-10). Les températures minimales (en bleu dans le tableau 2-10) sont descendues jusqu'à -20,5 °C en janvier 1985 et -22,5 °C en février 1956.

Tableau 2-10 *Extrema de température enregistrés à Saint-Dizier sur la période de juin 1953 à septembre 2020*

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
T°C la plus élevée	17,7	22,6	25,2	29,4	33.1	38,1	41,4	40,4	35,5	29,2	23,4	18,6
Date	05-1999	28-1960	28-1968	25-2007	28 2017	26-2019	25-2019	12-2003	14-2020	01-1985	07-2015	16-1989
T°C la plus basse	-20,5	-22,5	-13,6	-6	-3	2,2	3,2	3,7	0,2	-5,1	-11,7	-17,3
Date	09-1985	14-1956	01-2005	12-1986	06-1957	04-2001	01-1962	26-1966	21-1962	20-1972	23-1956	20-2009

À Houdelaincourt, la température moyenne mensuelle maximale, enregistrée entre 2012 et 2019, est atteinte au mois de juillet et correspond à une valeur de 25,4 °C. La température moyenne mensuelle minimale, enregistrée entre 2012 et 2019, est atteinte au mois de février et correspond à -0,6 °C.

À Cirfontaines, sur la période 1959-2020, les températures maximales ont atteint 39,4 °C en juillet 2019 et 40 °C en août 2003 et les températures minimales sont descendues jusqu'à -17 °C en décembre 2009, -19 °C en janvier 1987 et -19,6 °C en février 1963 à Cirfontaines.



CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-21-0026-B

Figure 2-7 *Variation moyenne mensuelle de la température sur la période du 01/01/2015 au 31/12/2019, à la station d'Houdelaincourt*

2.3.3 Vitesse et direction du vent

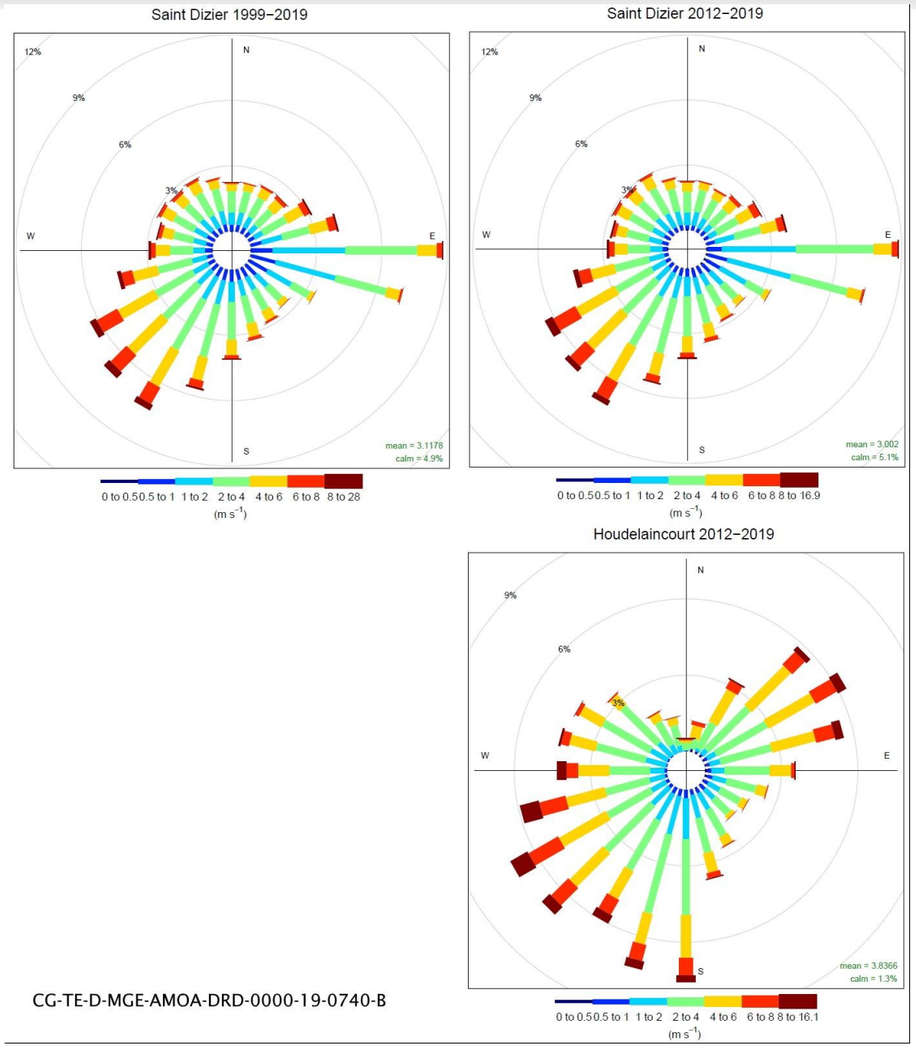
» VENT

Les météorologues distinguent le vent « instantané » et le vent « moyen ». Le vent « instantané » est une moyenne des mesures sur une période de trois secondes, alors que le vent « moyen » est une moyenne des mesures sur une période de 10 minutes.

Une rafale est une brusque augmentation du vent instantané, dépassant le vent moyen de plus de 10 nœuds (18 km.h^{-1}).

2.3.3.1 Vitesse et direction du vent moyennes

Les roses des vents générales par classe de vitesse aux stations météorologiques d'Houdelaincourt et de Saint-Dizier sont présentées sur la figure 2-8.



CG-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-19-0740-B

Figure 2-8 *Rose des vents de Saint-Dizier, période 1999-2019 (haut à gauche), période 2012-2019 (haut à droite), et de Houdelaincourt période 2012-2019 (bas)*

Sur la période 1999-2019, la vitesse moyenne des vents est de 3,1 m.s^{-1} et le pourcentage de vents calmes (inférieur à 1 m.s^{-1}) est faible, représentant 8,7 % des occurrences. Environ 58,2 % des vents se situent entre 1 m.s^{-1} et 4 m.s^{-1}, ce sont des vents modérés. Les vents forts, supérieurs à 10 m.s^{-1}, représentent moins de 1 %. Le vent moyen le plus fort mesuré sur la période 1999-2019 a atteint une vitesse de 28 m.s^{-1}.

Deux régimes de vents distincts sont identifiés :

- un régime de vent de sud-ouest (entre 180° et 260° est), représentant 32,2 % des occurrences, et associé à des vents bien établis (4 m.s^{-1} en moyenne) ;
- un régime de vent d'est (entre 60° et 120° est), moins marqué, représentant 23 % des cas et associé à des vents plus faibles : une moyenne de 2,7 m.s^{-1} avec très peu de vent au-dessus de 6 m.s^{-1}.

Sur la période 2012-2019, la comparaison des données acquises à Saint-Dizier et à Houdelaincourt (cf. Figure 2-8) montre des vents moyens (3,8 m.s^{-1}) plus forts à Houdelaincourt qu'à Saint-Dizier (3 m.s^{-1}). Le nombre de situations de vent calme est également beaucoup plus faible (4 %) à Houdelaincourt qu'à Saint-Dizier (12,4 %).

Sur la période 2012-2019 à la station de Houdelaincourt, la vitesse moyenne des vents est de 3,9 $m.s^{-1}$. Le pourcentage de vent calme est faible, représentant 3,8 % des occurrences. Les vents les plus fréquents se situent entre 3 $m.s^{-1}$ et 6 $m.s^{-1}$. Enfin, les vents forts (vitesse supérieure à 10 m/s) représentent 1,1 % des occurrences.

Trois directions privilégiées sont identifiées :

- une direction dominante sud-ouest, avec 43,8 % des occurrences, qui ont une direction comprise entre 180° et 280° ;
- une direction dominante d'est/nord-est, avec 21,9 % des occurrences, qui ont une direction comprise entre 40° et 80° ;
- une direction secondaire du nord-ouest.

La comparaison des régimes de vent des deux stations révèle plusieurs effets locaux. Le régime de sud-ouest se retrouve dans les deux stations mais il présente une composante sud à Houdelaincourt clairement marquée. Le régime d'est est présent à Houdelaincourt comme à Saint-Dizier mais à Houdelaincourt, il s'agit d'un régime de nord-est alors qu'à Saint-Dizier le régime est orienté est/sud-est.

Distante d'environ 35 km du projet global Cigéo et à 139 mètres d'altitude, la station de Saint-Dizier est située dans un contexte topographique différent du plateau barrois sur lequel est implanté le centre de stockage Cigéo. Les statistiques climatiques ainsi que les observations météorologiques seront influencées par cette différence de contexte. La station de Saint-Dizier seule ne peut donc pas être considérée comme représentative des statistiques climatiques mais elle est utile pour définir des conditions extrêmes ou historiques puisqu'elle existe depuis 1953. Pour les modélisations de dispersion atmosphérique des polluants chimiques et radioactifs, les conditions de vent sont déterminantes et doivent être représentatives du site étudié. Ce sont donc les valeurs des paramètres météorologiques de la station d'Houdelaincourt qui sont les plus représentatives des conditions de vents dans l'aire d'étude et donc retenues pour les calculs de dispersion atmosphérique dont les résultats sont présentés dans les volumes IV et VII.

2.3.3.2 Évènements extrêmes

La rafale maximale de vent ($m.s^{-1}$) enregistrée à Saint-Dizier sur la période 1981-2019 a atteint 44 $m.s^{-1}$ (soit près de 160 $km.h^{-1}$) le 26 décembre 1999. Cet évènement a conduit à de nombreux dégâts, en particulier à de nombreuses chutes d'arbres sur les parcelles forestières d'implantation des futures installations de surface du centre de stockage Cigéo.

Les tempêtes de décembre 1999 correspondent au passage de deux systèmes dépressionnaires successifs venus de la façade océanique à l'ouest. Elles font l'objet d'un arrêté de catastrophe naturelle nationale. Le 26 décembre 1999 au matin, des vents d'une violence exceptionnelle ont traversé très rapidement le nord de la France en suivant d'ouest en est une bande d'une largeur de 150 km environ au-dessus d'un axe « Pointe de Bretagne - sud de la Normandie - Île-de-France - Champagne-Ardenne - Lorraine - Alsace » puis l'Allemagne (cf. Figure 2-10). La deuxième tempête, qui a eu moins d'impact sur l'aire d'étude éloignée, a suivi une ligne Nantes - Romorantin - Dijon – Alsace dans la nuit du 26 au 27 décembre.

Parmi les phénomènes de vent extrême, les tornades occupent une place particulière car ce sont des phénomènes rares et de petites échelles mais qui occasionnent des dégâts importants.

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

En France, l'observatoire Keraunos réalise un recensement historique des tornades qui permet de dresser un portrait climatologique qualitatif des tornades en France. D'après Keraunos, il se produit en moyenne chaque année entre 40 et 50 tornades en France dont l'essentiel a des intensités très faibles (EF0) à faibles (EF1). Leur diamètre varie de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres, pour un parcours de quelques kilomètres et une durée de vie dépassant rarement 15 minutes. Le plus grand nombre se produit entre juin et août. En saison hivernale (novembre à mars), on les rencontre plutôt à l'intérieur du pays, associées à des lignes de grains nées à l'avant de fronts froids tempétueux.

La carte de la figure 2-9 ci-après réalisée par Keraunos illustre la localisation et l'intensité des tornades observées sur la période 1680-2018 sur toute la France. Toutes les régions peuvent potentiellement être touchées avec toutefois plus d'évènements en nombre et en intensité sur le quart nord-ouest et sur les côtes méditerranéennes. Sur cette période, Keraunos a recensé 716 cas de tornades auxquels s'ajoutent 208 cas considérés comme très probables. Cet observatoire a recensé en France :

- deux tornades d'intensité EF5 ayant eu lieu dans des régions autres que celle du Grand Est[4] ;
- quatorze tornades d'intensité EF4[5], dont une dans la région Grand Est, en l'occurrence au centre du département de la Marne, à environ 90 km de distance de la zone d'implantation de l'INB Cigéo ;
- une petite centaine de tornades d'intensité EF3 dont dix ont été observées dans la région Grand Est, la plus proche de la zone d'implantation de l'INB s'étant produite à 70 km.

Vis-à-vis des tornades d'intensité EF2, deux évènements de ce type ont été recensés à proximité immédiate la zone d'implantation de l'INB Cigéo, en l'occurrence à une vingtaine de kilomètres à Vouthon-Bas dans le sud du département de la Meuse et à une trentaine de kilomètres à Soulosse-sous-Saint-Élophe dans le nord-ouest du département des Vosges.

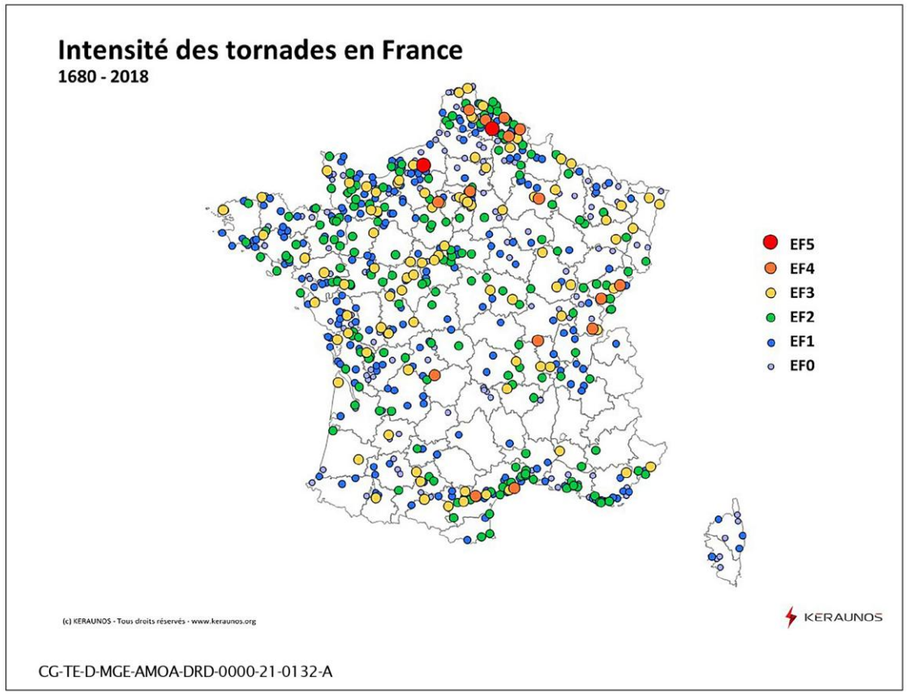


Figure 2-9 *Carte des tornades ayant eu lieu en France entre 1680 et 2018 recensées et validées par l'observatoire Keraunos. Source : Keraunos*

[4] Tornade EF5 : le 24 juin 1967 à Palluel dans le Pas-de-Calais et le 19 août 1845 à Montville en Seine-Maritime.

[5] La tornade d'intensité EF4 la plus récente a été observée le 3 août 2008 à Hautmont dans le département du nord.

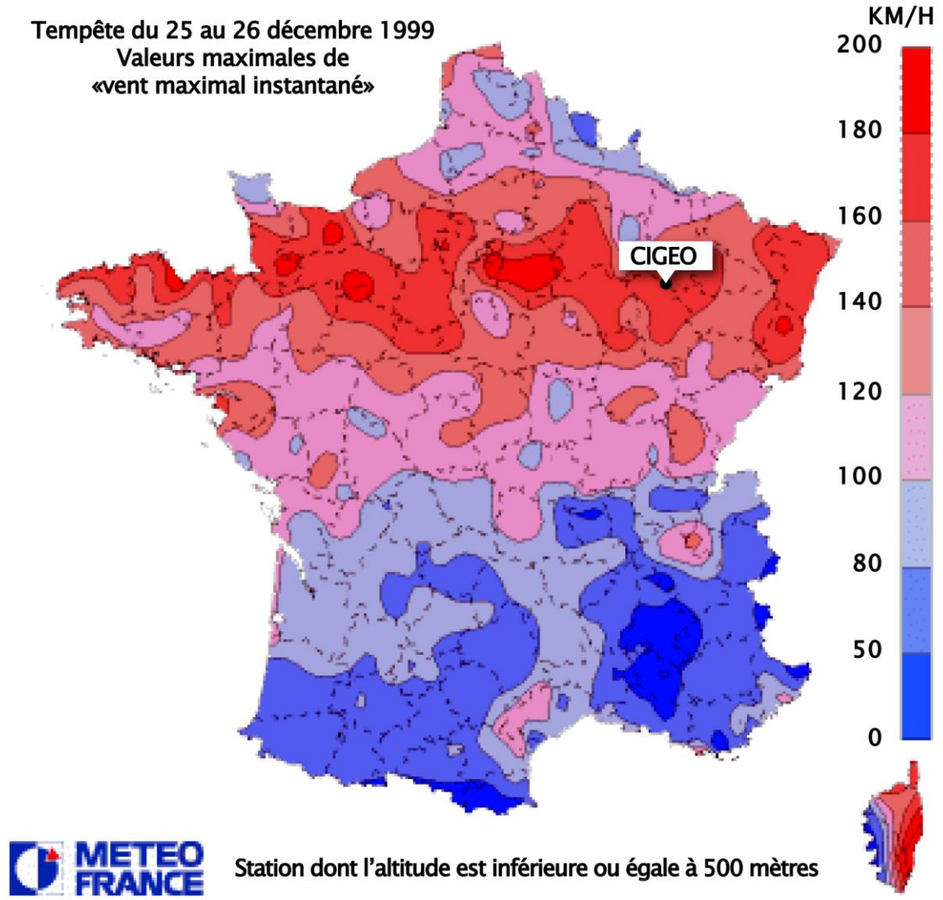


Figure 2-10 Vents maximums enregistrés en France le 26/12/1999

2.3.4 Hygrométrie

DÉFINITIONS

L'hygrométrie désigne la teneur en humidité de l'air.

L'humidité absolue d'une masse d'air est la quantité de vapeur d'eau qu'elle contient. Elle est exprimée en gramme de vapeur par kilogramme d'air.

La température de rosée est la température à partir de laquelle la vapeur d'eau contenue dans l'air se transforme en goutte d'eau.

L'humidité relative s'exprime en pourcentage. Elle correspond au rapport entre la quantité de vapeur d'eau que contient une masse d'air (humidité absolue) et la quantité maximale de vapeur d'eau qu'elle peut contenir pour une température et une pression donnée…

À Saint-Dizier, la moyenne des humidités relatives mensuelles sur la période 1980-2019 varie entre 70 % en juillet et 87 % en novembre (cf. Tableau 2-11).

Tableau 2-11 Moyenne des humidités relatives mensuelles (en %) à Saint-Dizier (1980-2019)

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Saint-Dizier	85,8	80,8	75,8	70,6	72,6	72,3	70,0	72,7	78,4	84,0	86,8	86,8	78,1

La moyenne annuelle est de 78 %. Sur la période 1980-2019, elle a varié entre 70 % en 2019 et 84 % en 1981.

Sur la période 2012-2019 elle a été de 76 % à Saint-Dizier et de 80 % à Houdelaincourt.

2.3.5 Durée d'ensoleillement

DURÉE D'ENSOLEILLEMENT

La durée d'ensoleillement est la durée pendant laquelle un lieu est soumis à un rayonnement solaire suffisamment intense et puissant pour produire des ombres bien distinctes. Cet indicateur est directement lié à la nébulosité, soit la part du ciel couvert par les nuages. Il sert de référence pour évaluer la fréquence du « beau temps ».

La durée d'ensoleillement est mesurée aux stations météorologiques de Saint-Dizier et d'Houdelaincourt. À Saint-Dizier, elle varie en moyenne de 51,2 heures en décembre à 236,7 heures en juillet sur la période 1980-2019 (cf. Figure 2-11). Sur cette période la durée annuelle moyenne est de 1 732 heures.

À Houdelaincourt, la durée annuelle moyenne d'ensoleillement est de 1 797,1 heures, et varie de 55,4 heures en novembre à 244,3 heures en juillet entre 2012 et 2020 (cf. Figure 2-12).

Le nombre d'heures moyen annuel d'ensoleillement croît du nord de la France (environ 1 500 heures) vers le sud (environ 2 800 heures).

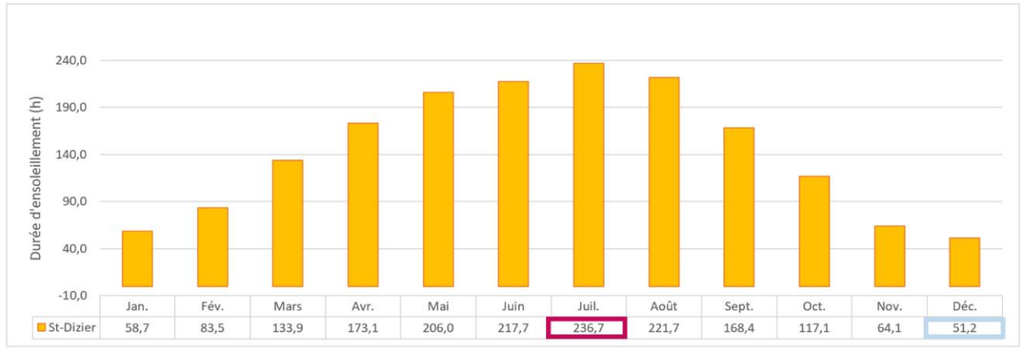
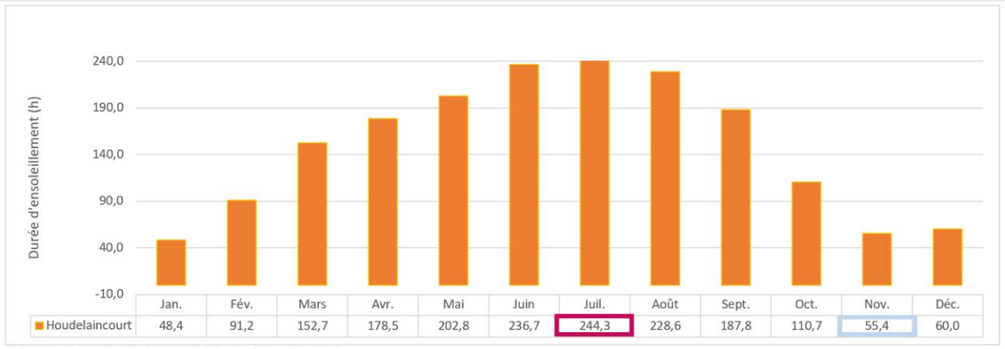


Figure 2-11 Durées d'ensoleillement moyen (en heures) à Saint-Dizier (1980-2019)



	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Houdelaincourt	48,4	91,2	152,7	178,5	202,8	236,7	244,3	228,6	187,8	110,7	55,4	60,0

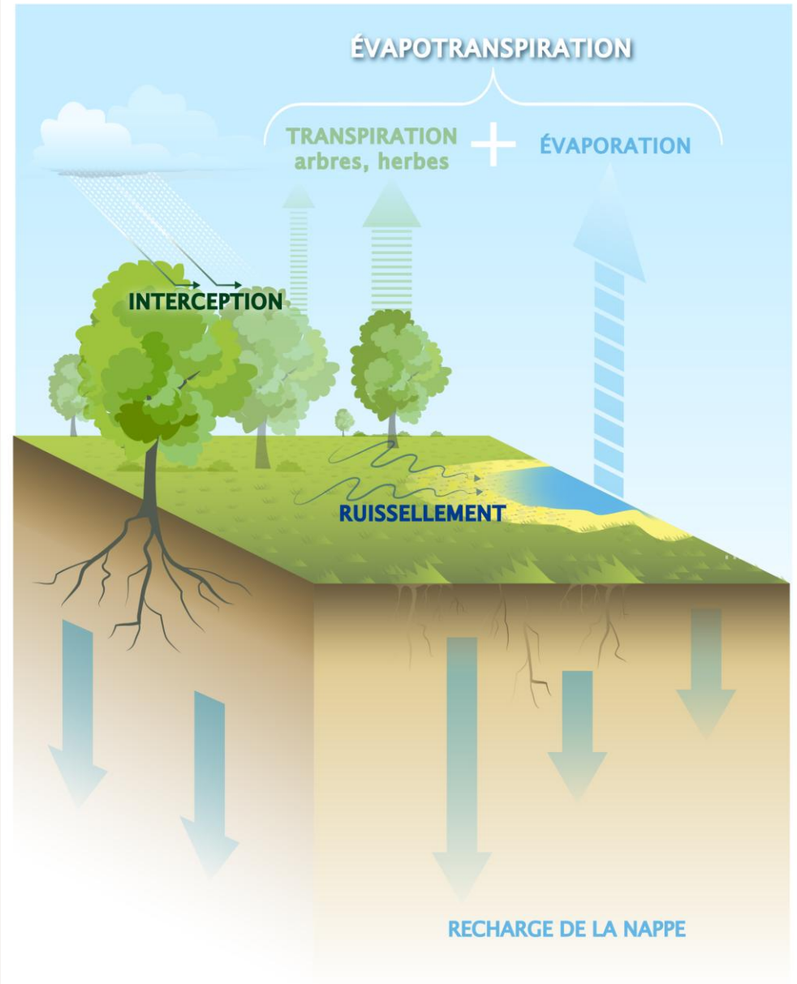
CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-22-0042-A

Figure 2-12 Durées d'ensoleillement moyen (en heures) à Houdelaincourt (2012-2020)

2.3.6 Évapotranspiration

ÉVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration est la quantité d'eau transférée à l'atmosphère par l'évaporation de l'eau au niveau du sol et de la transpiration des plantes comme le montre la figure 2-13. Elle est exprimée en mm.



CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0362-A

Figure 2-13 Schématisation de l'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée par évapotranspiration sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau.

L'évapotranspiration réelle (ETR) est la quantité d'eau effectivement consommée, en fonction du stade phénologique (évènement périodique déterminé par les variations saisonnières) de la culture et de la disponibilité de l'eau dans le sol.

L'évapotranspiration potentielle, calculée à la station météorologique Saint-Dizier, est en moyenne de 774 mm.an^{-1} ce qui correspond à une évapotranspiration potentielle de 2,1 mm.j^{-1} sur la période 1980-2019 Sur la période 2012-2019, l'évapotranspiration moyenne a respectivement été de 827 mm.an^{-1} à Saint-Dizier et de 758 mm.an^{-1} à Houdelaincourt.

L'évapotranspiration est minimale en hiver (0,3 mm.j^{-1} en décembre à Saint-Dizier) et maximale en été (4,4 mm.j^{-1} en août à Saint-Dizier).

2.3.7 Risques météorologiques majeurs

RISQUES

Les **risques météorologiques** sont les éventuelles conséquences graves sur les populations, sur l'intégrité des biens et sur l'activité économique engendrées par des phénomènes météorologiques exceptionnels.

La notion de « risques majeurs » est notamment définie dans les dossiers départementaux sur les risques majeurs (DDRM) de la Meuse et de la Haute-Marne, l'article L. 125-2 du code de l'environnement imposant à l'État d'informer toute personne sur les risques majeurs auxquels elle est soumise dans certaines zones du territoire.

Les risques météorologiques majeurs identifiés dans les dossiers départementaux des risques majeurs de la Meuse en 2019 et de la Haute-Marne en 2017 (29, 30) sont les suivants :

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

2.3.8 Changement climatique

L'évolution du climat a été analysée sur la base des conclusions du rapport de la Direction générale de l'énergie et du climat intitulé « Le climat futur en France » (31). Ce rapport se base sur les données de la DRIAS – Météo-France qui étudie les tendances d'évolution du climat sur le territoire métropolitain en s'appuyant sur les grands scénarios d'évolutions climatiques du dernier rapport du GIEC. Les projections à différents horizons y sont présentées :

- horizon proche 2021-2050 ;
- horizon lointain 2050-2100.

Ce rapport conclut que la France dans un horizon proche (2050), pourrait subir :

- une hausse des températures moyennes comprise entre 0,6 °C et 1,3 °C ;
- une augmentation du nombre de jours de vague de chaleur en été (en particulier dans les régions du sud-est) ;
- une diminution du nombre de jours anormalement froids en hiver sur l'ensemble de la France métropolitaine (en particulier dans les régions du quart nord-est) ;

Pour la période comprise en 2050 et 2100, le rapport indique que les tendances observées en début de siècle pourraient s'accentuer, avec l'observation notamment :

- d'une forte hausse des températures moyennes pour certains scénarios :
  - ✓ de 0,9 °C à 1,3 °C pour le scénario de plus faibles émissions (RCP[6] 2,6) ;
  - ✓ de 2,6 °C à 5,3 °C en été pour le scénario de croissance continue des émissions (RCP 8,5).
- d'un nombre de jours de vagues de chaleur qui pourrait dépasser les 20 jours au sud-est du territoire métropolitain pour le scénario RCP 8,5 ;
- de la poursuite de la diminution des extrêmes froids ;
- de l'augmentation des épisodes de sécheresse dans une large partie sud du pays, pouvant s'étendre à l'ensemble du pays ;
- d'un renforcement des précipitations extrêmes sur une large partie du territoire, mais avec une forte variabilité des zones concernées.

Ces horizons ne couvrent pas la totalité de la vie du centre de stockage Cigéo mais permettent de percevoir la progressivité des changements possibles tout en montrant les premiers impacts perceptibles.

D'autres études prospectives en particulier celles conduites dans le cadre du programme de recherche européen BIOCLIM 2003, programme qui étudie les changements à plus long terme, ne mettent pas en évidence d'élévation de température supérieure à celle indiquée dans le rapport de la Direction Générale de l'Énergie et du Climat, sur une période d'environ 300 ans.

2.3.9 Synthèse des conditions météorologiques locales

La climatologie locale a été déterminée grâce aux relevés de trois stations météorologiques exploitées par Météo-France et présentes dans le voisinage du projet global Cigéo, à savoir :

- la station météorologique de Saint-Dizier, située à environ 35 km au nord-ouest du centre de stockage Cigéo ;
- la station atmosphérique d'Houdelaincourt, implantée par l'Andra à environ 2,5 km de la ligne ferroviaire 027000, environ 10 km de la zone puits et environ 15 km de la zone descenderie ;
- la station météorologique de Cirfontaines-en-Ornois, installée à environ 7 km de la zone puits et 5 km au sud de la zone descenderie.

Lorsqu'elles étaient disponibles, les données météorologiques ont été étudiées sur la période 1980-2019.

Le projet global Cigéo s'insère dans un secteur présentant une tendance climatique de type continental influencé par des temps doux et humides, associés aux passages de perturbations venues de l'océan.

- **Précipitations**

  Le cumul annuel moyen des précipitations est de l'ordre de 850 mm. Les précipitations subissent de fortes variations interannuelles allant de 562 mm à 1 175 mm (selon les observations faites sur les stations d'Houdelaincourt, Saint-Dizier et Cirfontaines-en-Ornois entre 1980 et 2019).

  L'automne et l'hiver connaissent régulièrement des épisodes de neige (4,4 jours en moyenne en janvier) et de brouillard (cinq à six jours en moyenne mensuelle) (selon les observations faites sur la station de Saint-Dizier, entre 1981 et 2010).

- **Températures**

  Selon les observations faites sur la station de Saint-Dizier entre 1980 et 2019, la température moyenne annuelle est de 11,3 °C. L'amplitude thermique annuelle moyenne est de 16,6 °C. Les températures extrêmes sont de -22,5 °C en 1956 à +41,4 °C en 2019.

- **Vitesse et direction du vent**

  Selon les observations faites sur la station de Houdelaincourt entre 2012 et 2019, les vents sont essentiellement du sud-ouest, avec quelques périodes de vent d'est à nord-est. La vitesse moyenne des vents est de 3,9 m/s, soit 13,9 km/h, avec une dominance des vents modérés compris entre 3 m/s et 6 m/s.

  Des rafales ont atteint une vitesse mesurée de 44 m/s (160 km/h), à la station de Saint-Dizier, lors de la tempête de décembre 1999.

- **Hygrométrie**

  L'humidité relative moyenne est de 78,1 % (relevés de la station de Saint-Dizier, 1980-2019).

[6] Le RCP ou « *Représentative Concentration Pathways* » ou « Profils représentatifs d'évolution de concentration » désigne les profils d'évolution des concentrations des gaz à effet de serre retenus par les experts du GIEC.

- **Durée d'ensoleillement**

  La durée d'ensoleillement annuelle moyenne est de 1 727 heures à Saint-Dizier (selon les données récoltées entre 1981 et 2019) et de 1 797,1 h à Houdelaincourt (données 2012-2019).

- **Évapotranspiration**

  L'évapotranspiration potentielle annuelle est de 774 mm/an, correspondant à une évapotranspiration potentielle de 2,1 mm par jour (relevés de la station de Saint-Dizier, 1980-2019).

- **Risques météorologiques**

  Les risques météorologiques majeurs identifiés sur l'aire d'étude éloignée sont les tempêtes, les fortes pluies, les périodes de grand froid (avec notamment chutes de neige et verglas) et les canicules.

- **Changement climatique**

  Les projections sur l'évolution du climat à un horizon proche (2021-2050) et à un horizon lointain (2050-2100) indiquent que la France pourrait notamment subir une accentuation de la hausse des températures moyennes, de l'augmentation du nombre de jours de vague de chaleur en été (en particulier dans les régions du sud-est), de la diminution du nombre de jours anormalement froids en hiver sur l'ensemble de la France métropolitaine (en particulier dans les régions du quart nord-est).

Enjeux

Les conditions météorologiques locales sont conformes aux normales régionales. Elles présentent des variabilités annuelles et interannuelles moyennes. Les évènements exceptionnels sont rares. Plusieurs risques météorologiques majeurs sont identifiés sur l'aire d'étude éloignée. 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.

Enjeu faible

2.4 Énergie et gaz à effet de serre

2.4.1 Profil énergétique

»ÉNERGIE PRIMAIRE, SECONDAIRE ET FINALE

Selon l'Insee, **l'énergie primaire** est l'ensemble des produits énergétiques non transformés, exploités directement ou importés. Ce sont principalement le pétrole brut, les schistes bitumineux, le gaz naturel, les combustibles minéraux solides, la biomasse, le rayonnement solaire, l'énergie hydraulique, l'énergie du vent, la géothermie et l'énergie tirée de la fission de l'uranium.

L'énergie secondaire est l'ensemble des produits énergétiques transformés avant son transport vers l'utilisateur final, tels les produits pétroliers raffinés, la transformation du vent en électricité par les éoliennes, etc.

L'énergie finale est l'énergie livrée à l'utilisateur final. Pour certaines sources d'énergie, l'énergie finale est équivalente à l'énergie primaire. C'est le cas de l'énergie solaire, du bois-énergie utilisé dans le résidentiel-tertiaire, le gaz naturel si l'on considère les pertes de transport comme négligeables et les réseaux de chaleur/froid.

2.4.1.1 De la région Grand Est

Le SRADDET (20) indique que la région Grand Est se caractérise par une consommation d'énergie globalement plus élevée qu'à l'échelle nationale, qui s'explique en partie par un climat plus froid que dans le reste de la France et par la forte présence du secteur industriel. La région est la première consommatrice de gaz naturel à l'échelle nationale, directement en lien avec son activité industrielle.

Selon les chiffres clés régionaux sur l'énergie et les GES édités par ATMO Grand Est en 2020 (32), la production d'énergie primaire en Grand Est s'élève en 2018 à 121 742 GWh, avec 66 % de la production d'origine nucléaire. Cette production représente environ 12 % de la production d'énergie primaire en France. Avec 182 871 GWh, soit 11,2 % de la consommation française en 2018, le Grand Est présente une balance consommation-production déficitaire. Très dépendant des énergies fossiles, le Grand Est importe la quasi-totalité du gaz et des carburants qu'il consomme. En revanche, son parc nucléaire lui permet d'exporter une part importante de sa production d'électricité.

En termes d'énergie renouvelable (ENR), le Grand Est se caractérise par une forte consommation du bois énergie, qui est la première source d'ENR. La région possède le troisième parc d'installations de production d'électricité renouvelable et produit 15 % de l'électricité renouvelable française, essentiellement grâce à l'hydroélectricité et à l'éolien.

2.4.1.2 Du Pays Barrois

L'édition 2022 des chiffres clés de l'Observatoire climat aire énergie du ScoT du Pays Barrois pour l'année 2020 (33) indique que 866 GWh d'énergie primaire sont produits dans le Pays Barrois en cumulant tous les vecteurs d'énergie de ce territoire (cf. Tableau 2-12). Parmi cette énergie primaire, seulement 5 GWh sont issus d'énergies non renouvelables (incinération de déchets). Les deux principales sources d'énergie dans le Pays Barrois sont les éoliennes (47 %) et la filière bois énergie (46 %).

Tableau 2-12 Bilan de la production énergétique (GWh) du Pays Barrois (2020) par vecteur

Vecteurs	Production 2020- GWh
Électricité	517
Chaleur	66
Carburant ou combustible	282
Total	**866**

La production d'électricité atteint un total de 517 GWh, soit 60 % de la production énergétique globale du territoire.

La consommation totale d'électricité est de 402 GWh sur le territoire (cf. Tableau 2-13). Celle-ci provient en très grande majorité des éoliennes qui en assurent 99 %. Néanmoins, le territoire ne peut être considéré comme autonome étant donné la fluctuation de la production d'énergie par éolienne.

L'énergie thermique produite par la filière bois-énergie sur le territoire s'élève à 274 GWh, en prenant comme hypothèse que le territoire est autonome sur l'utilisation du bois énergie. Cela veut dire que l'ensemble de la ressource en bois utilisée est directement disponible sur le territoire. Le bois constitue une ressource énergétique considérable dans le Pays Barrois, il est notamment utilisé comme moyen de chauffage de nombreux foyers. La production d'énergie par le bois n'est cependant pas exploitée entièrement dans le Pays Barrois, seule 67 % de la production énergétique est consommée sur le territoire.

Tableau 2-13 *Consommation d'énergie (en GWh) dans le Pays Barrois (2020) par source*

	Produit pétrolier	Gaz naturel	Électricité	Bois	Autres EnR	Chaleur et froid issus de réseaux	TOTAL
Tous secteurs	570	385	402	184	101	34	1 676
Part de l'énergie	34 %	23 %	24 %	11 %	6 %	2 %	100 %

Tableau 2-14 *Consommation d'énergie (en GWh) dans le Pays Barrois (2020) par secteur*

	Industrie manufacturière	Résidentiel	Tertiaire	Agriculture	Transport routier	Autres transports	TOTAL
Tous secteurs	385	603	201	67	419	17	1 692
Part de l'énergie	23 %	36 %	12 %	4 %	25 %	1 %	100 %

Le Schéma de cohérence territoriale (SCoT) du Pays Barrois (27) précise que, en 2009, 74 % des logements de ce territoire sont des maisons individuelles, ce qui explique la forte consommation d'énergie du secteur résidentiel. Le secteur des transports est responsable de près d'un tiers de la consommation énergétique. Les énergies fossiles telles que les produits pétroliers et le gaz sont très rares dans le territoire français, et *a fortiori* au sein du Pays Barrois. Par conséquent, ce sont des importations sur le marché international qui permettent de subvenir aux besoins locaux pour le chauffage et les déplacements.

2.4.2 Potentiel en énergies renouvelables

» ÉNERGIES RENOUVELABLES

Les **énergies renouvelables** (ENR) sont des énergies dérivées de processus naturels en perpétuel renouvellement. Il existe plusieurs formes d'énergies renouvelables, notamment l'énergie générée par le soleil, le vent, la biomasse solide (bois énergie essentiellement), la chaleur terrestre, l'eau des fleuves, des lacs, des mers et des océans, le biogaz et les biocarburants liquides. On distingue l'énergie renouvelable électrique de l'énergie renouvelable thermique.

L'énergie renouvelable électrique comprend l'électricité hydraulique, éolienne, marémotrice, le solaire photovoltaïque et la géothermie à haute température.

L'énergie renouvelable thermique comprend le bois de chauffage (ramassé ou commercialisé), la géothermie valorisée sous forme de chaleur, le solaire thermique actif, les résidus de bois et de récoltes incinérés, les biogaz, les biocarburants et les pompes à chaleur, les déchets urbains et industriels biodégradables (quelle que soit leur nature).

La production de bois de chauffage est considérée comme un service écosystémique d'approvisionnement (service écosystémique de production de bois).

2.4.2.1 Dans la région Grand Est

Le bilan 2022 des chiffres clés des énergies renouvelables et de récupération en région Grand Est (34) indique que les énergies renouvelables ont couvert 28,9 % de la consommation d'énergie de cette région. À noter que ce bilan 2022 présente des chiffres 2020 et 2021 selon les types d'énergies. Cela représente environ 46 000 GWh produits au cours de l'année 2021 soit 12 % de la production française d'énergies renouvelables (cf. Figure 2-14).

Avec plus de 7 600 GWh, la région Grand Est accueille, au 31 décembre 2021, le troisième parc d'installations de production d'électricité renouvelable le plus important de France, qui permet de couvrir 38,8 % de la consommation électrique régionale.

Sur l'année 2021, la production d'énergies renouvelables dans la région Grand Est est répartie selon les filières suivantes (cf. Figure 2-14) :

- le bois-énergie représente la première source de production d'énergie renouvelable de la région, représentant plus de 17 000 GWh, avec 12 % des surfaces forestières nationales présentes dans la région ;
- l'hydroélectricité est la première source d'électricité renouvelable avec une production estimée à presque 8000 GWh ;
- cinq installations d'agrocarburant ont permis la production de plus de 4 800 GWh ;
- avec 3 800 GWh de production d'énergie éolienne installée, soit 22 % de la puissance installée en métropole, la région Grand Est est la deuxième région de France en éolien, en puissance et en production en 2021 ;
- environ 80 000 pompes à chaleur aérothermiques vendues en 2020 ;
- deux sites de géothermie profonde en fonctionnement avec une production d'environ 698 GWh d'électricité et de chaleur en 2021 (la géothermie est présentée au chapitre 4 « Sous-sol » du présent volume) ;
- 268 installations de production de biogaz, dont 246 méthaniseurs, pour une production d'énergie plus de 2 100 GWh, ce qui place la région en tête du classement national La région Grand Est est aussi au premier rang de la production de bio méthane injecté dans le réseau de gaz naturel ;
- 11 installations d'incinération des déchets ;
- 44 568 installations photovoltaïques ;
- 279 000 m² de surface de solaire thermique ;
- 113 réseaux de chaleur représentant 756 km pour une livraison de chaleur de l'ordre de 2 750 GWh avec un taux d'ENR moyen de 65 %.

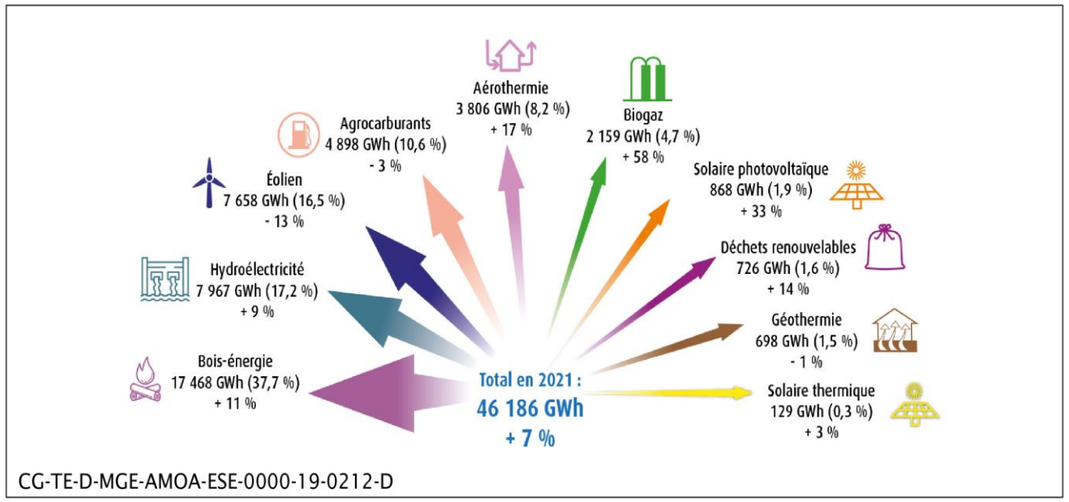


Figure 2-14 *Production d'énergie renouvelable en région Grand Est par filière en 2021 (35)*

2.4.2.2 Dans le Pays Barrois

L'édition 2022 des chiffres clés de l'Observatoire Climat Air Énergie du SCOT du Pays Barrois (33) indique que le Pays Barrois produit essentiellement des énergies renouvelables. À noter que ce bilan 2022 présente des chiffres 2020 et 2021 selon les types d'énergies. En 2020, la production d'énergies renouvelables représente 99,3 % de la production d'énergie primaire du Pays Barrois, soit 863 GWh.

Il produit de l'énergie renouvelable grâce, entre autres, aux éoliennes (59 %), à la filière bois-énergie (32 %), aux pompes à chaleur (PACs) aérothermiques, à la géothermie, à l'incinération de déchets, et au photovoltaïque selon la répartition indiquée dans le tableau 2-15. La production d'énergie issue des éoliennes représente à elle seule 59 % de la production totale d'énergie électrique renouvelable sur le Pays Barrois.

Tableau 2-15 Production d'énergies renouvelables dans le Pays Barrois par filière (2020) (38)

ENR	Production (GWh)	Part de la production totale
Éoliennes	512	59 %
Filière bois-énergie	274	32 %
PACs aérothermiques	45	5 %
Géothermie (chaleur)	7	1 %
Incinération de déchets	7	1 %
Photovoltaïque	4	0,5 %
Autres (hydraulique renouvelable, solaire thermique, biogaz)	11	1 %
TOTAL	**863**	**100 %**

En Meuse, les installations éoliennes se regroupent le long d'une ligne qui suit le relief des côtes du Barrois. En 2020, le Pays Barrois possède 103 éoliennes réparties sur 21 parcs (19). Des zones potentielles de développement éolien dans le Pays Barrois sont présentes au sud de Gondrecourt-le-Château et autour du Seuil d'Argon.

Les ressources locales d'énergie thermique renouvelable sont issues en grande partie de la filière bois énergie. En 2012, 50 000 tonnes de bois par an sont utilisées comme énergie de base pour le chauffage individuel et 7 800 tonnes par an pour les industries et les équipements publics (36).

Le projet porté par le Pays Barrois vise à structurer la filière bois à travers un plan d'actions défini dans le cadre du Plan climat territorial. La production de bois présente un excédent qui peut être exploité sans compromettre les besoins de l'industrie. Deux ressources peuvent être mobilisées pour la filière bois-énergie : la ressource forestière et les rebus de l'industrie de première transformation (scierie). En 2011, le gisement accessible est de 173 milliers de tonnes dont 68 restent inexploitées (37). Avec une plus forte valorisation du prix du bois, les ressources forestières disponibles pourraient encore augmenter de 19 milliers de tonnes. À cette ressource s'additionne le bois issu des activités de première transformation.

La production d'énergie *via* la filière bois-énergie a augmenté de 40 % entre 2005 (261,9 GWh) et 2018 (364,9 GWh).

2.4.2.3 Dans l'aire d'étude rapprochée

Dans l'aire d'étude rapprochée, les ressources d'énergies renouvelables suivantes ont été identifiées :

- une ressource forestière abondante, variée, et en pleine croissance ;
- des gisements importants de méthane issus des effluents d'élevage et des cultures intermédiaires sur ce territoire à dominante agricole ;
- la récupération de l'énergie des industries locales : lactoserum des fromageries, bois mal calibrés des scieries, calories liées à la production de charbon de bois (Carbo-France) ;
- le potentiel géothermique local, de capacité limitée par rapport au besoin en énergie thermique du centre de stockage Cigéo. Les ressources géothermiques locales sont détaillées au chapitre 4.6.6.2 du présent volume ;
- le potentiel en énergie solaire.

2.4.3 Émissions de gaz à effet de serre

» GAZ À EFFET DE SERRE

Les gaz à effet de serre (GES) sont des gaz qui absorbent une partie des rayons solaires en les redistribuant sous la forme de radiations au sein de l'atmosphère terrestre, phénomène appelé effet de serre. Ils sont mesurés en tonnes équivalent CO2 (t CO2e).



Figure 2-15 Schématisation de l'effet de serre

Plus d'une quarantaine de gaz à effet de serre a été recensée par le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC). L'eau naturellement présente dans l'air est l'élément qui contribue le plus à l'effet de serre « naturel ». L'augmentation de l'effet de serre depuis la révolution industrielle du XIX^{e} siècle est induite par les émissions d'autres gaz à effet de serre provoquées par notre activité parmi lesquels figurent :

- le dioxyde de carbone (CO_2), dont l'accumulation dans l'atmosphère contribue pour deux tiers de l'augmentation de l'effet de serre induite par les activités humaines (combustion de gaz, de pétrole, déforestation, cimenteries, etc.). C'est pourquoi l'effet des autres gaz à effet de serre est usuellement mesuré en équivalent CO_2 (eq. CO_2). Les émissions de CO_2 actuelles auront un impact sur les concentrations dans l'atmosphère et sur la température du globe pendant des dizaines d'années, car leur durée de vie dans l'atmosphère est supérieure à la centaine d'années ;
- le méthane (CH_4), qui est essentiellement généré par l'agriculture (rizières, élevages). Une partie des émissions provient aussi des décharges ainsi que de la production et de la distribution de gaz et de pétrole, de l'extraction du charbon et de leur combustion. La durée de vie du méthane dans l'atmosphère est de l'ordre de 12 ans ;
- le protoxyde d'azote (N2O), qui provient des engrais azotés, de la combustion de la biomasse et des produits chimiques comme l'acide nitrique. Sa durée de vie est de l'ordre de 120 ans ;
- les gaz fluorés, l'hydrofluorocarbures (HFC), le perfluorocarbures (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF_6), qui sont utilisés dans les systèmes de réfrigération et employés dans les aérosols et les mousses isolantes. Les PFC et le SF6 sont utilisés dans l'industrie des semi-conducteurs. Les gaz fluorés ont un pouvoir de réchauffement 1 300 à 24 000 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone et une durée de vie de 50 000 ans dans l'atmosphère. C'est pourquoi ils représentent un réel danger malgré la modeste part qu'ils représentent dans les émissions totales de GES.

Afin de limiter l'accentuation de l'effet de serre et la hausse des températures à la surface de la planète, des politiques de réduction ou de limitation d'émissions de certains GES ont été mises en place par de nombreux pays, dont la France notamment, dans le cadre du protocole de Kyoto. Les documents de planification français qui en découlent sont détaillés au chapitre 2.2 du présent volume.

2.4.3.1 Émissions de la région Grand Est

Il est indiqué dans l'édition 2022 des chiffres clés de l'Observatoire Climat Air Énergie du Grand Est en 2020 (38), que la région Grand Est totalise 39 216 ktCO_2e en 2020 d'émissions directes de GES, soit environ 7,064 tCO_2e par habitant. Cela représente une diminution de 8 % par rapport à 2017.

En 2020, les secteurs des transports et de l'industrie représentent les principaux secteurs émetteurs de GES en Grand Est avec environ un quart chacun des émissions totales (cf. Figure 2-16). La moitié restante des consommations se partage essentiellement à parts équivalentes entre les secteurs agricoles (20 %), du bâtiment (résidentiel et tertiaire à 22 %) et de l'industrie énergétique (10 %).

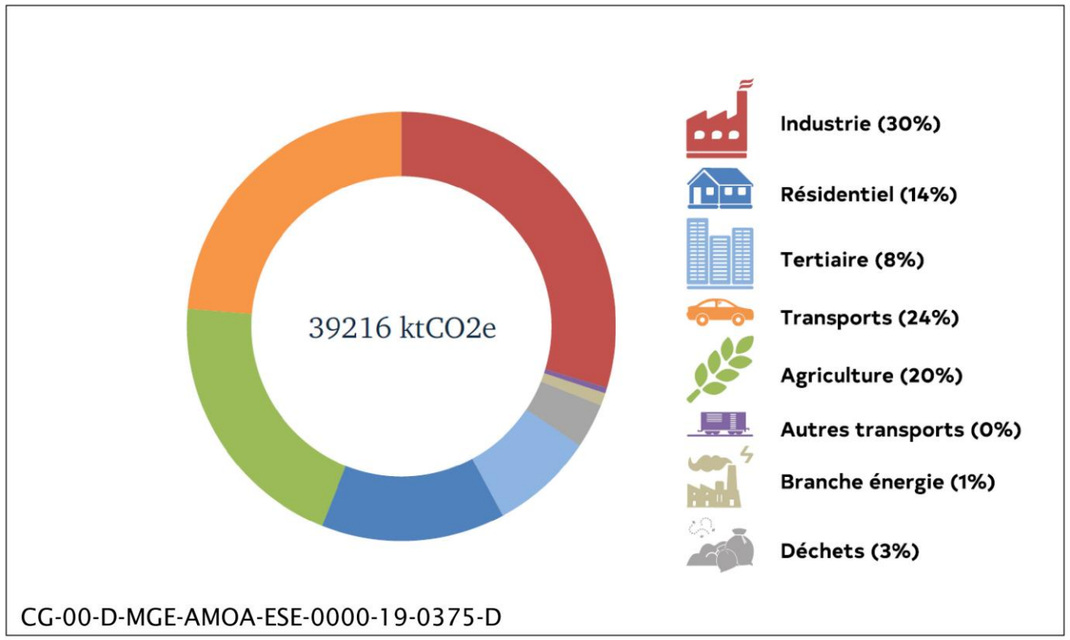


Figure 2-16 Émissions directes de gaz à effet de serre de la région Grand Est en 2020 (tCO_2e)

La prédominance des émissions des secteurs de l'énergie et de l'industrie dans la région est due à la présence de nombreuses industries lourdes métallurgiques et chimiques, majoritairement en Moselle et Meurthe-et-Moselle.

2.4.3.2 Émissions du Pays Barrois

Les émissions totales de GES du Pays Barrois indiquées dans les chiffres clés de l'Observatoire Climat Air Énergie, édités en 2022 (33), sont évaluées à 463 000 tCO_2e d'émissions directes en 2020, soit environ 7,06 tCO_2e par habitant. Les missions en GES par habitant de ce territoire sont équivalentes à celles de la région Grand Est.

L'agriculture est l'activité du Pays Barrois émettant le plus de GES (cf. Figure 2-17). Elle représente plus d'un tiers des émissions totales (37 %). Ce poste prépondérant est suivi par les postes transport (24 %) et bâtiment résidentiel (15 %). Cela correspond au caractère rural du Pays Barrois où l'activité agricole est prépondérante et où les postes d'émissions de GES liés aux individus sont plus importants du fait d'une grande proportion de logements individuels et de distances de déplacements importantes.

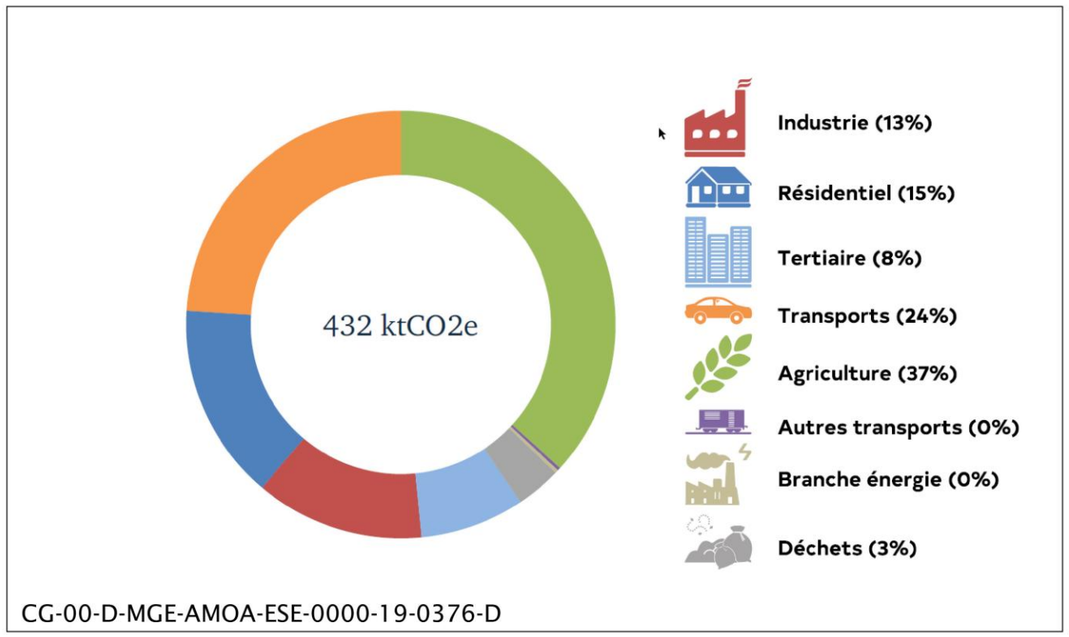


Figure 2-17 *Émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre du Pays Barrois en 2020 (tCO_2e)*

2.4.4 Séquestration carbone

SÉQUESTRATION CARBONE

La **séquestration carbone** désigne l'ensemble des processus extrayant le CO_2 de l'atmosphère et le stockant dans un réservoir. Aujourd'hui, les principaux réservoirs terrestres de carbone sont les océans, les sols (dont les tourbières) et la biomasse végétale, en particulier le bois, qu'il soit en forêt (arbres et bois mort) ou utilisé comme matériau dans la construction ou l'ameublement. Cette capacité des écosystèmes à réguler le climat mondial *via* des processus d'atténuation des flux de gaz à effet de serre et de stockage de carbone est considéré comme un service écosystémique de régulation (service écosystémique de régulation du climat global). À l'échelle mondiale, les sols et la biomasse stockent environ quatre fois plus de carbone que n'en contient l'atmosphère. Leurs évolutions sont donc déterminantes dans le processus de régulation du climat. Les roches sédimentaires sont en réalité le plus grand réservoir de carbone terrestre mais ce réservoir évolue peu à l'échelle du siècle, qui est celle qui nous concerne dans le cadre de la lutte contre le changement climatique.

En France métropolitaine, 3 à 4 milliards de tonnes de carbone sont stockés dans les 30 premiers centimètres de sols et 1,5 milliard dans la biomasse forestière (source : ATMO Grand Est en 2018 (32)).

Le changement d'usage d'un sol ou un changement de pratiques modifie la capacité de séquestration d'un écosystème. Ainsi, une déforestation dans le cadre d'un aménagement ou le retournement d'une prairie pour la mettre en culture va non seulement décomposer de la matière organique et libérer du CO2 dans l'atmosphère, mais empêchera également la séquestration carbone dans le futur. *À contrario*, le changement de pratiques culturales avec une couverture systématique des sols et l'implantation de bosquets ou de haies, ou encore le reboisement d'une parcelle, favorisera la séquestration de carbone sur un territoire.

2.4.4.1 Les chiffres clés sur la séquestration carbone en 2017

Les chiffres clés sur l'énergie et les GES, édités par ATMO Grand Est en 2019 (39), annoncent pour l'année 2017 les estimations suivantes de séquestration carbone :

- 600 tCO_2e par habitant à l'échelle de la France métropolitaine ;
- 1 800 tCO_2e par habitant à l'échelle de la région Grand Est ;
- 6 000 tCO_2e par habitant à l'échelle du Pays Barrois.

Ces chiffres correspondent aux quantités de carbone séquestrées (en équivalent CO_2) par habitant. La valeur élevée en Pays Barrois s'explique par la faible densité de population et par la présence significative d'espaces boisés.

2.4.4.2 La séquestration carbone au sein de l'aire d'étude éloignée

Selon la méthodologie présentée au chapitre 2.4.1.3 du volume VII de la présente étude d'impact, un calcul a été réalisé en croisant les données de séquestration carbone des écosystèmes avec celles relatives à la nature des sols. Cette analyse permet d'affiner la qualification de la capacité de séquestration des écosystèmes de l'aire d'étude éloignée, telle qu'indiquée dans le tableau suivant.

Tableau 2-16 *Capacité de séquestration carbone par l'écosystème*

Capacité de l'écosystème à séquestrer du carbone	Climat continental			
	Forêts fermées	Prairies	Cultures annuelles	Écosystèmes urbains et artificialisés
Sols peu profonds de coteaux	Modérée	Faible	Nulle	Nulle
Sols peu à moyennement profonds de plateaux	Forte	Modérée	Nulle	Nulle
Sols profonds de plateaux légèrement acides (Valanginien)	Forte	Modérée	Nulle	Nulle
Sols de bas de versants ou de vallons	Forte	Modérée	Nulle	Nulle
Sols de vallées	Très forte	Modérée	Nulle	Nulle

Sur l'aire d'étude éloignée (cf. Figure 2-18), la moitié de la surface environ présente une capacité de séquestration carbone nulle (cultures et zones urbanisées). Les écosystèmes présentant une capacité de séquestration carbone forte et modérée représentent respectivement 23,5 % et 21,5 % des surfaces, tandis que les écosystèmes ayant une faible capacité de séquestration carbone (prairies sur sols peu profonds de coteaux) représentent environ 4 % de la surface. Ainsi, il y a très peu de surfaces (<1 %) à très forte capacité de séquestration comme les forêts de vallées dans l'aire d'étude éloignée.

La présence de sols forestiers légèrement acides conjuguée à la prédominance de sols cultivés peu à moyennement profonds modèrent la capacité de séquestration carbone de l'aire d'étude éloignée.

Ces résultats ont été obtenus selon la méthodologie développée au chapitre 2.3.2 du volume VII de la présente étude d'impact.

Une représentation cartographique de la capacité de séquestration carbone des écosystèmes de l'aire d'étude éloignée est présentée sur la figure ci-après.

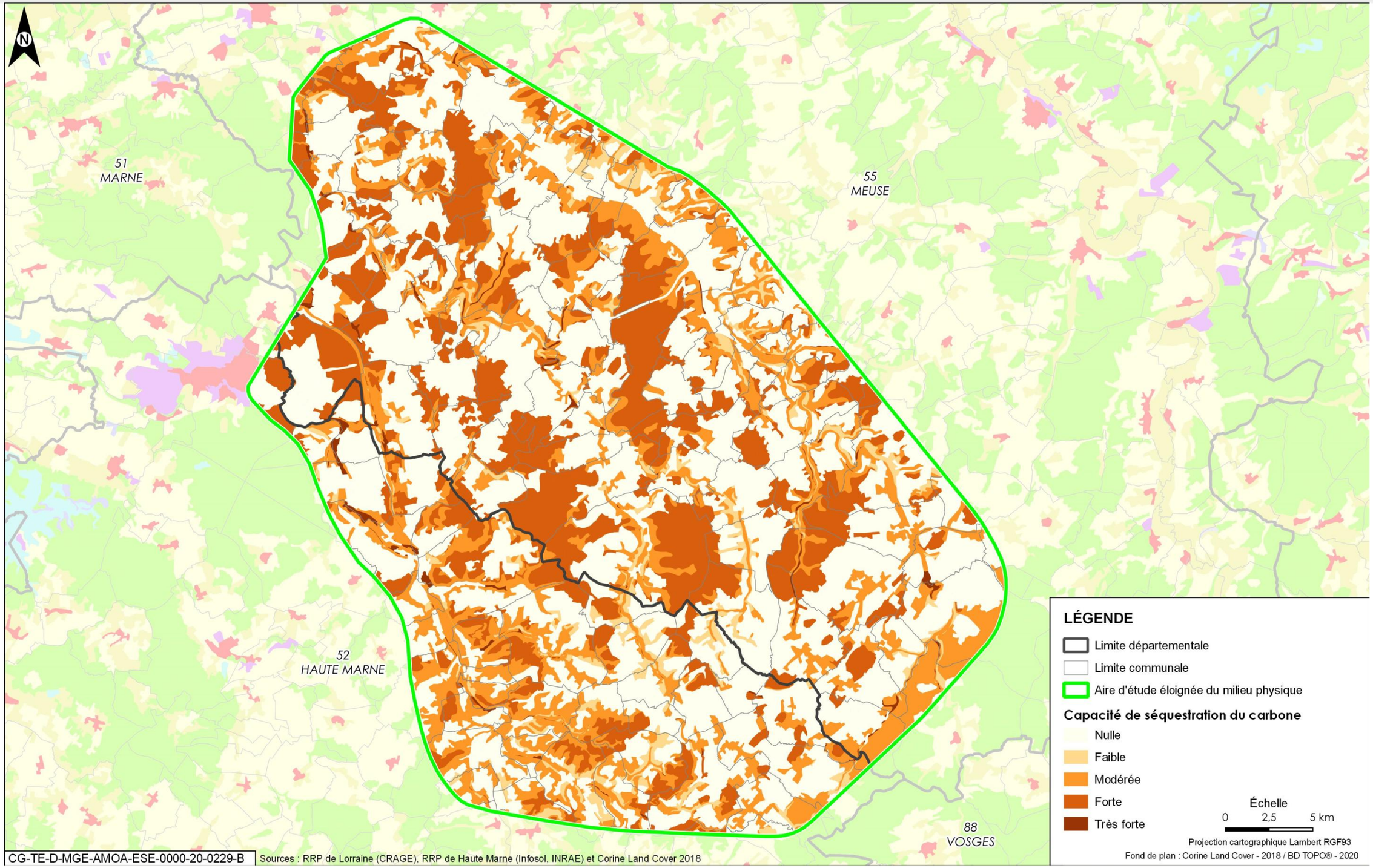


Figure 2-18 Carte de la capacité de séquestration carbone dans l'aire d'étude éloignée du milieu physique

2.4.5 Synthèse sur l'énergie et les gaz à effet de serre

- **Profil énergétique**

  Le Pays Barrois se caractérise par une consommation importante d'énergie pour le chauffage des habitations et les déplacements. Il importe les énergies fossiles nécessaires aux déplacements automobiles. Ses productions d'électricité éolienne et de chaleur grâce au bois-énergie couvrent les autres besoins. Des apports extérieurs d'électricité viennent compléter l'irrégularité de la production éolienne.

  Ainsi, l'aire d'étude rapprochée se distingue de la région Grand Est. Cette dernière est largement alimentée par l'énergie nucléaire, qui est, pour une part importante, consommée par l'industrie.

- **Potentiel en énergies renouvelables**

  L'énergie éolienne constitue 59 % de la production totale d'électricité du Pays Barrois. Des zones potentielles de développement éolien dans le Pays Barrois sont présentes au sud de Gondrecourt-le-Château et autour du Seuil d'Argon.

  La filière bois-énergie domine la production locale d'énergie thermique renouvelable avec des perspectives de développement importantes.

  Des gisements de bois, de méthane issu de l'agriculture et de récupération de chaleur des industries sont identifiés dans l'aire d'étude rapprochée.

- **Émissions de gaz à effet de serre**

  Au niveau de la région Grand Est, les émissions de gaz à effet de serre sont principalement dues à l'industrie et aux transports routiers.

  De par son profil rural, le Pays Barrois est dominé par des émissions de gaz à effet de serre issues du secteur agricole, des transports routiers et des bâtiments résidentiels.

- **Séquestration carbone**

  De nombreux paramètres influencent la capacité de séquestration carbone : le climat, la nature de l'écosystème, les pratiques de gestion associées et la nature des sols sur lesquels repose l'écosystème. La capacité de séquestration carbone de l'aire d'étude éloignée a été étudiée à partir d'une approche croisée entre l'occupation des sols et la nature des sols sur laquelle repose l'écosystème. Ainsi, le taux de boisement relativement important de l'aire d'étude éloignée le fait apparaître comme une zone favorable à la séquestration naturelle du carbone. Toutefois, la présence de sols forestiers légèrement acides conjuguée à la prédominance de sols cultivés peu à moyennement profonds modèrent la capacité de séquestration carbone de l'aire d'étude éloignée. Il y a finalement peu de surfaces à très forte capacité de séquestration : ce sont uniquement des espaces boisés en fond de vallée.

  Enjeux

  L'aire d'étude éloignée est uniquement productrice d'énergies renouvelables, principalement d'origine éolienne et bois-énergie. Cette dernière filière présente un potentiel de développement important. Dans l'aire d'étude rapprochée, les ressources d'énergies renouvelables sont essentiellement la forêt, les gisements de méthane issus de l'agriculture et la récupération de l'énergie des industries locales. Le territoire importe des énergies fossiles pour couvrir ses importants besoins liés aux déplacements routiers. La forêt présente une capacité modérée de séquestration du carbone.

Enjeu modéré

2.5 Qualité de l'air

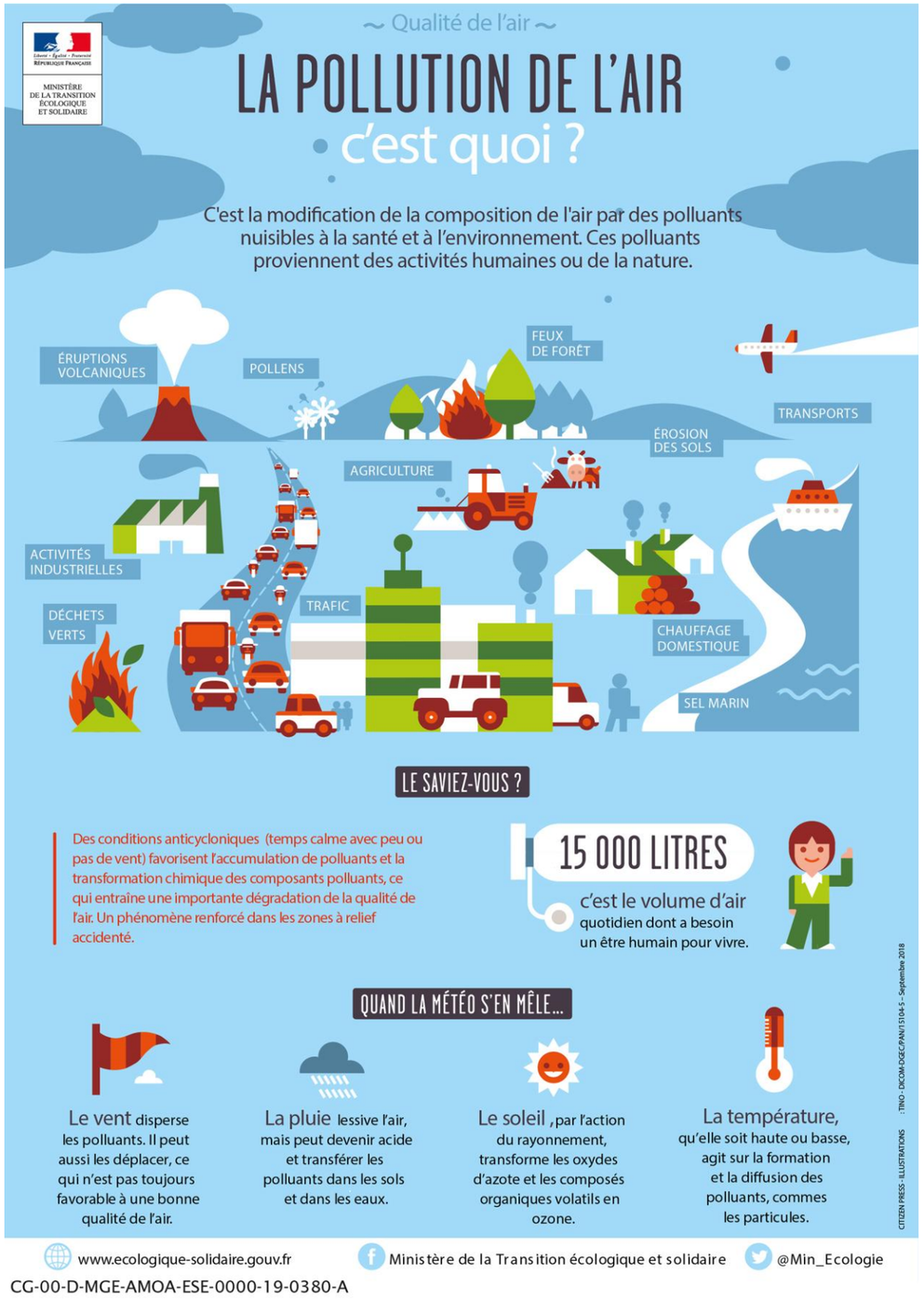


Figure 2-19 Qu'est-ce que la pollution de l'air ?

2.5.1 Paramètres conventionnels

POLLUANTS ET PARAMÈTRES CONVENTIONNELS

Le terme polluant désigne toute substance présente dans l'air ambiant et pouvant avoir des effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble. Les normes de qualité de l'air, déterminées selon des méthodes définies par arrêté du ministre chargé de l'environnement, sont établies par polluant.

Les **paramètres conventionnels** correspondent aux composés chimiques.

L'article R. 221-1 du code de l'environnement fixe des normes de surveillance de la qualité de l'air pour certains polluants dans l'air déterminés à partir d'études épidémiologiques, conduites notamment par l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

DÉFINITION DES NORMES DE QUALITE DE L'AIR DEFINIES DANS L'ARTICLE R. 221-1 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT

Le terme « polluant » désigne toute substance présente dans l'air ambiant et pouvant avoir des effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble.

Les normes de qualité de l'air, déterminées selon des méthodes définies par arrêté du ministre chargé de l'environnement, sont établies par polluant. Les différentes normes sont définies ci-dessous.

Objectif de qualité : niveau 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 cible : niveau 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.

Valeur limite : niveau 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.

Seuil d'information et de recommandation : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions.

Seuil d'alerte : niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

Les valeurs de ces critères actuellement en vigueur sont présentées en annexe 1 du volume VII de la présente étude d'impact.

2.5.1.1 Aires d'étude et origine des données

Ce chapitre présente les concentrations mesurées selon deux échelles :

- la synthèse de la qualité de l'air à l'échelle de la région qui provient des données des stations du réseau régional ATMO Grand Est présentées dans le bilan de la qualité de l'air Grand Est. Le dernier rapport disponible est celui de l'année 2022 publié le 25 juillet 2023 qui présente les moyennes mesurées en 2022 (40);
- à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée, les concentrations ont été mesurées à la station atmosphérique d'Houdelaincourt et par des campagnes à proximité des zones puits et descenderie. La localisation de la station atmosphérique d'Houdelaincourt et des campagnes à proximité des zones puits et descenderie sont présentées sur la figure 2-20. Les rapports annuels d'évaluation de la qualité de l'air à Houdelaincourt sont disponibles sur le site Internet ATMO Grand Est à l'adresse suivante : https://www.atmo-grandest.eu/etude/evaluation-de-la-qualite-de-lair-ambiant-houdelaincourt. L'ensemble des données présenté dans ce chapitre est issu du rapport d'évaluation de la qualité de l'air ambiant à Houdelaincourt en 2020, réalisé par ATMO Grand Est (41).

Les concentrations en polluants sont accompagnées d'une présentation des principaux secteurs émetteurs de polluants. Cette sectorisation est effectuée sur un périmètre intégrant la station atmosphérique d'Houdelaincourt et les zones d'intervention potentielle du projet global Cigéo.

Les concentrations en polluants présentées dans ce chapitre, mesurées à la station atmosphérique d'Houdelaincourt, sont représentatives de l'aire d'étude rapprochée. En effet, du fait de sa situation (altitude, éloignée de toute perturbation telle que des bâtiments ou bosquets), la station atmosphérique d'Houdelaincourt, située à environ quinze kilomètres à vol d'oiseau des installations de surface du centre de stockage Cigéo, est une référence pour le quart nord-est de la France.

Cette station a vocation à servir pour le suivi de la qualité de l'air tout au long des différentes phases de vie du centre de stockage Cigéo. Sa localisation a fait l'objet d'une analyse approfondie avec des experts pour garantir la représentativité des mesures réalisées (située en hauteur, éloignée de perturbation des masses d'air comme les bâtis ou les massifs boisés). Cette station, dont l'exploitation est réalisée en partenariat avec Météo-France et ATMO Grand Est, est intégrée dans plusieurs réseaux nationaux et internationaux de suivi de la qualité de l'air. Les méthodologies relatives aux mesures de la qualité de l'air à la station de Houdelaincourt sont détaillées au chapitre 2.5.1.1 du volume VII de la présente étude d'impact.

La station est installée sous les vents dominants dans une large zone agricole sans activité industrielle. Les habitations et les routes les plus proches sont à plusieurs centaines de mètres.

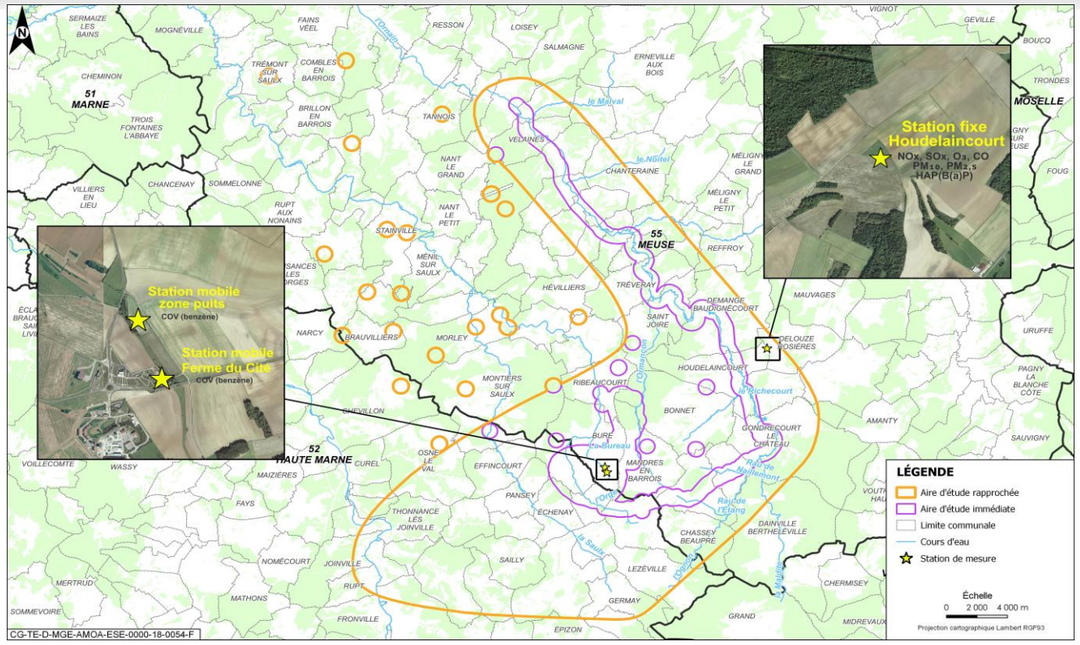


Figure 2-20 Localisation des points de mesures de la qualité de l'air

2.5.1.2 Polluants étudiés

La définition de la qualité de l'air actuelle repose sur la comparaison des concentrations mesurées aux critères nationaux d'évaluation de la qualité de l'air.

» UNITÉ DE MESURE DE LA CONCENTRATION DE POLLUANTS

Les concentrations en polluants dans l'air sont souvent exprimées en « µg/m³ » (dit « microgramme par mètre cube ») ou en « ng/m³ » (dit nanogramme par mètre cube).

- 1 µg/m³ équivaut à 0,001 mg/m³ ;
- 1 ng/m³ équivaut à 0,000 001 mg/m³.

Les polluants mesurés, ainsi que leur origine sont indiqués ci-dessous :

- **le dioxyde d'azote (NO_2)** est émis lors de processus de combustion. Le NO_2 est issu de l'oxydation de l'oxyde d'azote (NO). Les principales sources d'émission de NO_x sont le transport routier et les secteurs de l'industrie et de la production d'énergie. Le **NO_2** est le composé représentatif de la famille de NO_x, il est donc utilisé comme traceur ;
- **le dioxyde de soufre (SO_2)** est un gaz principalement émis par le secteur industriel, et plus particulièrement par les centrales de production thermique. Il est émis lors de l'utilisation de combustibles fossiles contenant du soufre (fuel, charbon…) ;
- **les composés organiques, volatils (COV)**, regroupent une multitude de substances dont **le benzène, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)** sous forme gazeuse et particulaire comme le benzo(a)pyrène. Émis lors de tout processus de combustion, en particulier dans le secteur industriel (raffineries, usines d'incinération des déchets, centrales thermiques à charbon, fonderies…) ainsi que dans toutes les combustions du secteur tertiaire et résidentiel (bois en foyer ouvert par exemple), ils sont également présents dans les émissions des véhicules, notamment les véhicules diesel ;
- **l'ozone (O_3) présent** dans les basses couches de l'atmosphère (située entre le sol et 10 km d'altitude) agit comme un polluant alors que dans les hautes couches de l'atmosphère, il agit comme une protection contre les radiations nuisibles du soleil. C'est un gaz à effet de serre.

  L'ozone est un gaz incolore et irritant ayant une odeur âcre à laquelle notre odorat s'habitue rapidement L'ozone est un polluant secondaire : il est issu de plusieurs réactions chimiques faisant intervenir des composés précurseurs : les polluants primaires (COV et NO_x principalement émis par les activités humaines), soumis à l'influence des conditions atmosphériques. En effet, ces réactions nécessitent le rayonnement intense du soleil, c'est ce qu'on appelle la pollution photochimique.

  L'ozone a une durée de vie de quelques jours dans les basses couches de l'atmosphère, de sorte qu'il peut être transporté loin de sa zone de formation : cette pollution s'observe en général de manière plus intense en été dans les régions périurbaines et rurales sous le vent des agglomérations ;
- **le monoxyde de carbone (CO)** est un gaz inflammable, inodore et incolore (ce qui accentue sa dangerosité), essentiellement formé de manière anthropique. Ce composé provient de la combustion incomplète des combustibles et des carburants, généralement due à des installations mal réglées (c'est tout particulièrement le cas des toutes petites installations). Il est aussi présent dans les rejets de certains procédés industriels (agglomération de minerai, aciéries, incinération de déchets) mais aussi et surtout présent dans les gaz d'échappement des véhicules automobiles. Fortement émis par le transport routier et donc présent à proximité immédiate des voies de circulation, le monoxyde de carbone est principalement mesuré sur des sites de trafic routier ;
- **les particules** en suspension de diamètre inférieur à 10 µm et à 2,5 µm (respectivement, PM_{10} et $PM_{2,5}$), ont de nombreuses origines, naturelles (volcans, érosion, pollens, sels de mer…) et anthropiques (incinération, combustion, activités agricoles, chantiers…). Elles constituent un complexe de substances organiques ou minérales et peuvent véhiculer d'autres polluants. La taille des particules varie, allant de quelques nanomètres à plusieurs dizaines de micromètres ;
- les métaux lourds (arsenic, cadmium, nickel et plomb).

» EMISSIONS CONVENTIONNELLES ET INFLUENCES

Les émissions chimiques dans l'air peuvent être étudiées selon les influences présentes dans leur environnement proche. Leur prise en compte permet une caractérisation plus fine des émissions dans l'air, en croisant les données collectées avec la situation à proximité. La qualité de l'air est décrite selon trois influences :

- en situation de **fond**, correspondant aux zones éloignées des sources d'émissions de polluants ;
- en situation de **« proximité trafic »**, dans les zones soumises à des pollutions engendrées directement par les émissions du trafic ;
- en situation de **« proximité industrielle »**, dont la pollution est engendrée par les activités industrielles situées à proximité.

2.5.1.3 Synthèse de la qualité de l'air à l'échelle régionale

À l'échelle de la région Grand Est, les données sont exploitées à partir des stations du réseau régional ATMO Grand Est présentées dans le rapport annuel du bilan de la qualité de l'air Grand Est. Le dernier rapport disponible est celui de l'année 2022 publié le 25 juillet 2023 qui présente les moyennes mesurées en 2022 et les compare aux années précédentes (40).

Entre 2018 et 2022, les concentrations moyennes annuelles en **dioxyde d'azote** baissent en moyenne de 16 % sur les stations urbaines de fond du Grand Est avec une forte diminution en 2020 liée à la situation sanitaire et une légère augmentation en 2021 et 2022. Aucune station urbaine de fond ne dépasse la valeur limite (40 µg/m³) mais 89 % dépassent la recommandation de l'OMS (10 µg/m³). En 2022, les niveaux sont établis à 17 µg/m³ en proximité industrielle et 14 µg/m³ en fond urbain. En proximité trafic, les moyennes annuelles en dioxyde d'azote restent nettement plus élevées avec une moyenne de 24 µg/m³ en 2022, mais toujours en dessous de l'objectif qualité qui est de 40 µg/m³.

Entre 2018 et 2022, les moyennes annuelles des teneurs en **dioxyde de soufre** sont très faibles, en-dessous de 5 µg/m³ en moyenne sur les cinq dernières années, pour tout type d'influence, donc bien en dessous de l'objectif qualité qui est de 50 µg/m³. En 2022, elles se situent entre 1 µg/m³ et 2 µg/m³, les niveaux restant malgré tout plus élevés en proximité industrielle, en lien avec des activités émettrices de dioxyde de soufre (notamment cimenterie, production de produits chimiques) (42).

Les moyennes annuelles d'**ozone** les plus faibles sont observées en situation de fond urbain, tandis que les plus élevées sont observées en situation de fond rural. La présence plus importante de composés participant à la destruction de l'ozone en milieu urbain, comme le monoxyde d'azote, explique en grande partie ces écarts. L'évolution des niveaux de fond en milieu urbain ou rural est similaire sur les cinq dernières années et représente de 15 % à 23 % d'augmentation sur la période 2017-2028, avec un pic en 2018.

Le **monoxyde de carbone** ne fait pas l'objet de suivi à l'échelle du Grand Est.

Les niveaux de **particules PM_{10}** sont stables entre 2018 et 2022 (15 µg/m³ à 17 µg/m³) et en-dessous de l'objectif qualité qui est de 30 µg/m³. Les niveaux de fond sont très proches de ceux de proximité industrielle avec, toutefois, une baisse observable sur 2019, 2020 et 2021. En proximité trafic, les moyennes sont plus élevées, en moyenne, de 5 µg/m³ par rapport aux autres influences.

Entre 2018 et 2022, les concentrations moyennes en **particules $PM_{2,5}$** montrent, en situation de proximité trafic, une baisse constante de 1 µg/m³ par année pour atteindre 9 µg/m³ en 2022, soit une baisse de 23 % sur la période. En situation de fond, les niveaux étaient stables de 2017 à 2018 (12 µg/m³) puis ont baissé les trois dernières années pour atteindre 9 µg/m³ en 2020, 2021 et 2022, ce qui permet de passer en dessous de l'objectif de qualité, qui est de 10 µg/m³.

Les moyennes annuelles en **benzène** montrent une tendance à la baisse en situation de fond périurbain (1,1 µg/m³ en 2017 contre 0,5 µg/m³ en 2021 et 2022. En proximité industrielle, une diminution de moitié est observée entre 2020 et 2022, avec une moyenne de 0,9 µg/m³ en 2021 et 2022, la plus faible sur la période 2018-2022. En situation trafic, les moyennes annuelles sont de 0,7 µg/m³ en 2022 et restent en dessous de l'objectif qualité qui est de 2 µg/m³

De 2018 à 2022, les moyennes annuelles de **benzo(a)pyrène** (B(a)P) en situation de fond montrent une tendance à la baisse (0,8 ng/m³ en 2018 contre 0,2 ng/m³ en 2022). En proximité industrielle, les années 2020, 2021 et 2022 sont marquées par une baisse significative des niveaux de benzo(a)pyrène (baisse de 1,3 ng/m³ par rapport à 2019). En situation trafic, les moyennes annuelles se situent à 0,2 ng/m³ en 2021 et 2022 contre 0,4 ng/m³ en 2018.

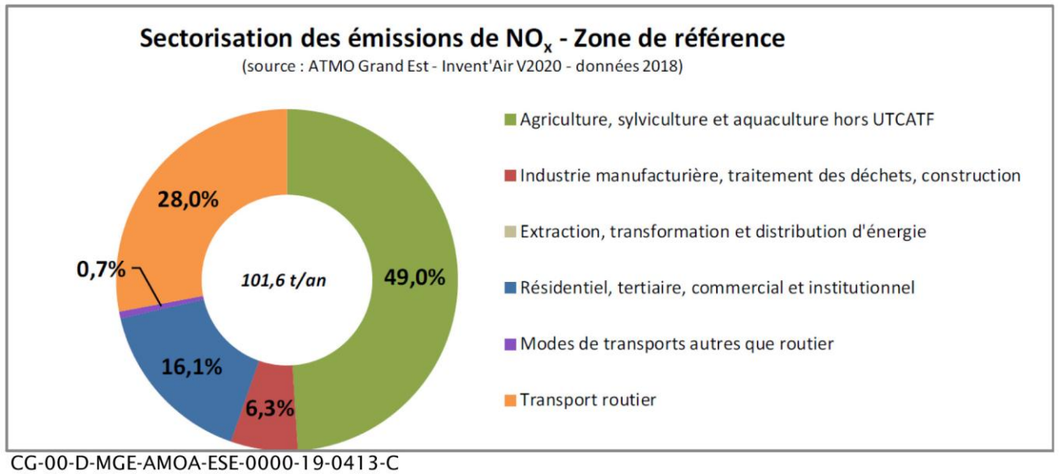
Entre 2018 et 2022, pour les métaux lourds, les niveaux sont plus élevés en proximité industrielle qu'en situation de fond. Les résultats entre 2019 et 2022 ont baissé, quelle que soit l'influence, pour **l'arsenic, le nickel et le plomb**, et sont restés stables pour le **cadmium**. Pour le plomb en 2022, le niveau de fond se situe à 0,003 µg/m³ tandis que la moyenne annuelle est de 0,008 µg/m³ en situation de proximité industrielle, ce qui reste en dessous des valeurs cibles pour les quatre métaux. Depuis 2020, les mesures dans l'air ambiant des métaux lourds respectent les valeurs réglementaires.

2.5.1.4 Qualité de l'air à l'échelle locale

2.5.1.4.1 Dioxyde d'azote (NO_2)

a) Émissions de polluants par secteur

Les oxydes d'azote proviennent pour près de la moitié du secteur regroupant les activités agricoles, sylvicoles et aquacoles (49 %), suivi par le transport routier (28 %) et le secteur regroupant les activités résidentielles, tertiaires, commerciales et institutionnelles (près de 16 %) (cf. Figure 2-21).

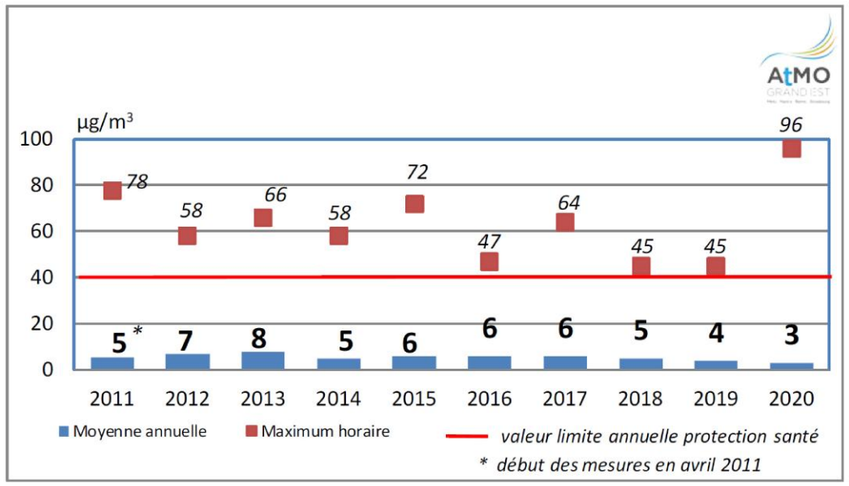


CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0413-C

Figure 2-21 Sectorisation des émissions de NOx en 2019

b) Mesures réalisées

La figure 2-22 présente l'évolution des moyennes annuelles et des *maxima* horaires des teneurs en NO_2 depuis la mise en service de la station d'Houdelaincourt au regard de l'objectif de qualité et du seuil d'information et de recommandation.



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0055-E

Figure 2-22 Évolution des teneurs annuelles en NO_2 et des maximas horaires à Houdelaincourt (2011-2020)

Pour la période 2011-2020, la concentration moyenne annuelle varie entre 3 µg/m³ et 8 µg/m³, avec des niveaux peu élevés la grande majorité du temps. Quelques légères hausses ponctuelles sont néanmoins observables chaque année ; le maximum horaire observé sur la période est de 96 µg/m³, atteint en 2020. Ces hausses ont lieu essentiellement en période hivernale, à relier avec des conditions météorologiques défavorables à une bonne dispersion des masses d'air. Depuis la mise en service de ce point fixe, le constat est identique chaque année, à savoir de faibles valeurs moyennes annuelles. Aucune évolution significative n'est à relever.

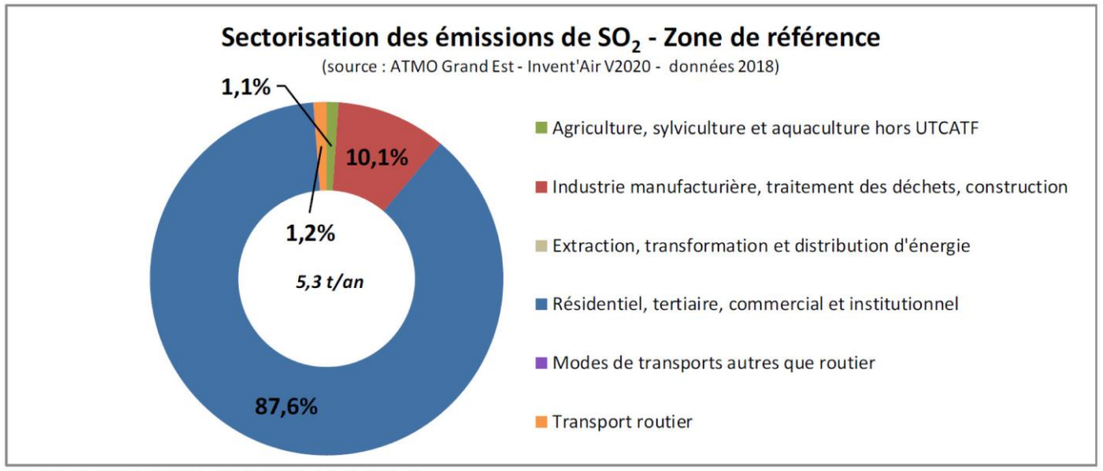
La concentration moyenne annuelle en NO_2 à Houdelaincourt correspond à un niveau de fond rural et est globalement du même ordre de grandeur que celle issue de l'ensemble des sites de typologie rurale de fond de la région Grand Est.

Les concentrations en NO_2 et en NOx mesurées en 2020 sont largement inférieures aux différentes valeurs réglementaires. Aucun seuil d'information et/ou d'alerte n'a été dépassé pour le NO_2.

2.5.1.4.2 Dioxyde de soufre (SO_2)

a) Émissions de polluants par secteur

Avec près de 90 %, le secteur résidentiel-tertiaire-commercial et institutionnel est le principal émetteur de dioxyde de soufre (cf. Figure 2-23). Viennent ensuite les autres secteurs d'activités pour moins de 13 %.

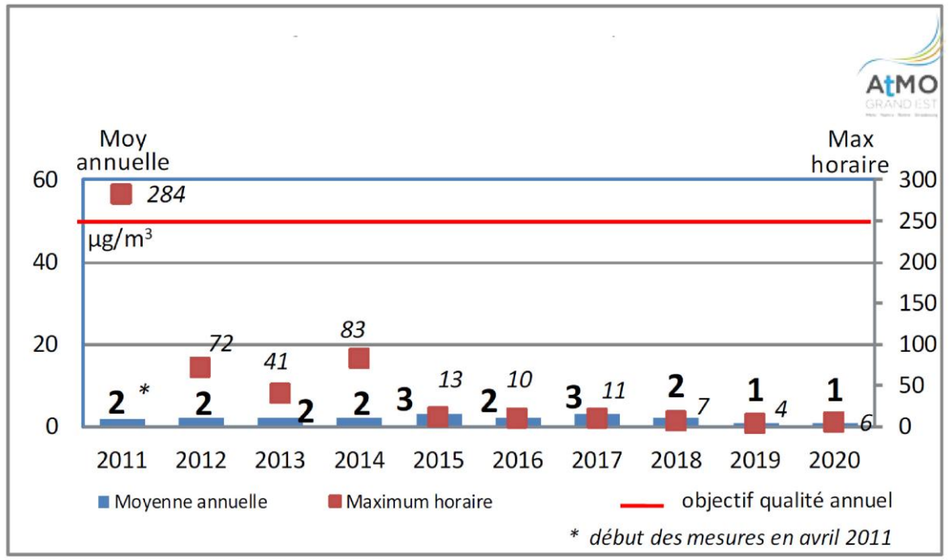


CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0410-C

Figure 2-23 Sectorisation des émissions de SO_2 en 2019

b) Mesures réalisées

La figure 2-24 présente l'évolution des valeurs moyennes annuelles et des maximas horaires depuis la mise en service de la station d'Houdelaincourt.



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0056-E

Figure 2-24 Évolution des teneurs moyennes annuelles en SO_2 et des maximas horaires à Houdelaincourt (2011-2020)

Les moyennes annuelles relevées en SO_2 depuis 2011 demeurent identiques et très faibles depuis la mise en service du site (valeurs moyennes annuelles oscillant essentiellement entre 2 µg/m³ et 3 µg/m³). Elles correspondent aux niveaux de fond rural pour ce composé, et sont du même ordre de grandeur que les autres stations fixes sur le Grand Est.

Les concentrations obtenues sont très largement inférieures aux différentes valeurs réglementaires.

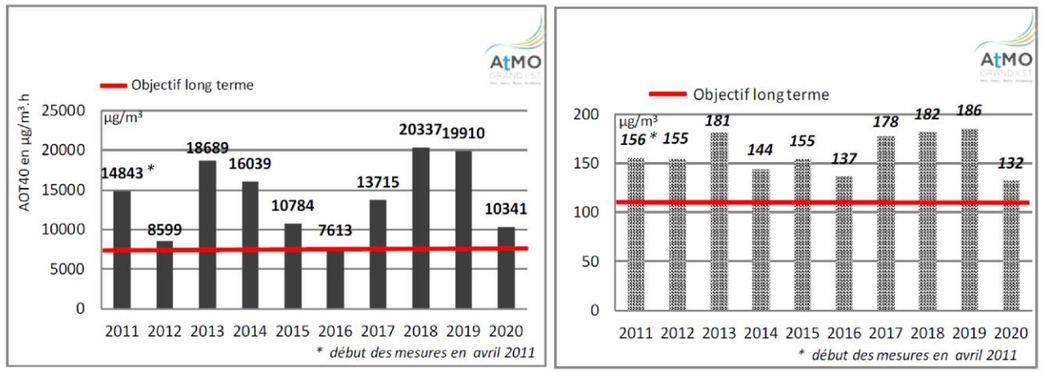
Aucun seuil d'information (300 µg/m³ en moyenne horaire) et/ou d'alerte (500 µg/m³ en moyenne horaire) n'a été dépassé pour le SO_2.

2.5.1.4.3 Ozone (O_3)

L'ozone est un polluant photochimique secondaire dont les concentrations sont tributaires des conditions météorologiques, notamment de la température et de l'insolation. En raison du mode de formation/destruction de ce composé secondaire, les niveaux de fond en ozone sont plus faibles en période hivernale et plus élevés en période printanière et estivale.

Mesures réalisées à la station d'Houdelaincourt :

La figure 2-22 présente l'évolution, depuis la mise en service de la station d'Houdelaincourt, du maximum journalier sur huit heures en O_3, ainsi que l'évolution de l'AOT40 (*Accumulated Ozone exposure over a Threshold of 40 parts per billion*), correspondant à a somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m³ (40 parties par milliard) et le seuil de 80 µg/m³ durant une période donnée.



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0057-E

Figure 2-25 Évolution de l'AOT40 et du maximum journalier sur huit heures en O_3 à Houdelaincourt (2011-2020)

Depuis la mise en service de la station d'Houdelaincourt, l'objectif long terme pour la protection de la végétation (AOT40) est systématiquement dépassé. L'AOT40 varie de 7 613 µg/m³ à 20 337 µg/m³, maximum atteint en 2018. L'objectif long terme est également dépassé tous les ans pour le maximum journalier sur huit heures, avec la plus grande valeur atteinte en 2019 (186 µg/m³).

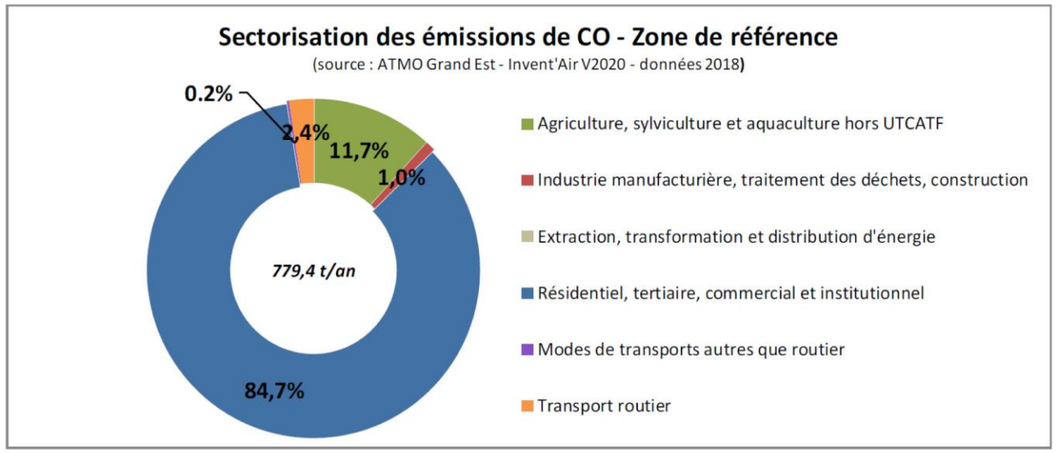
La valeur cible de protection de la santé humaine, à ne pas dépasser plus de 25 jours par an, est respectée en 2020 et en 2019, et s'en approche sur la période 2018-2020 (23 jours). La ligne directrice de l'OMS est également dépassée.

Ces dépassements ne sont pas localisés mais concernent l'ensemble de la région Grand Est. L'ozone est en effet un polluant présentant une problématique plutôt régionale à internationale, que locale.

2.5.1.4.4 Monoxyde de carbone (CO)

Émissions de polluants par secteur :

Le secteur résidentiel-tertiaire-commercial et institutionnel émet la majorité du monoxyde de carbone (près de 85 %), suivi par l'agriculture-sylviculture-aquaculture (près de 12 %) (cf. Figure 2-26).

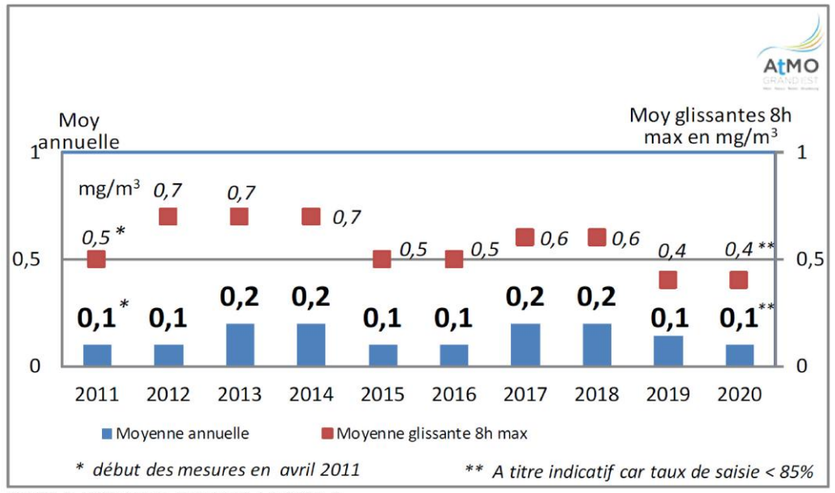


CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0411-C

Figure 2-26 Sectorisation des émissions de CO en 2019

Mesures réalisées :

La figure 2-27 présente l'évolution des valeurs moyennes annuelles et des maximas horaires des teneurs en CO depuis la mise en service de la station d'Houdelaincourt.



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0058-F

Figure 2-27 Évolution des concentrations annuelles et des moyennes glissantes maximales sur huit heures en CO à Houdelaincourt (2011-2020)

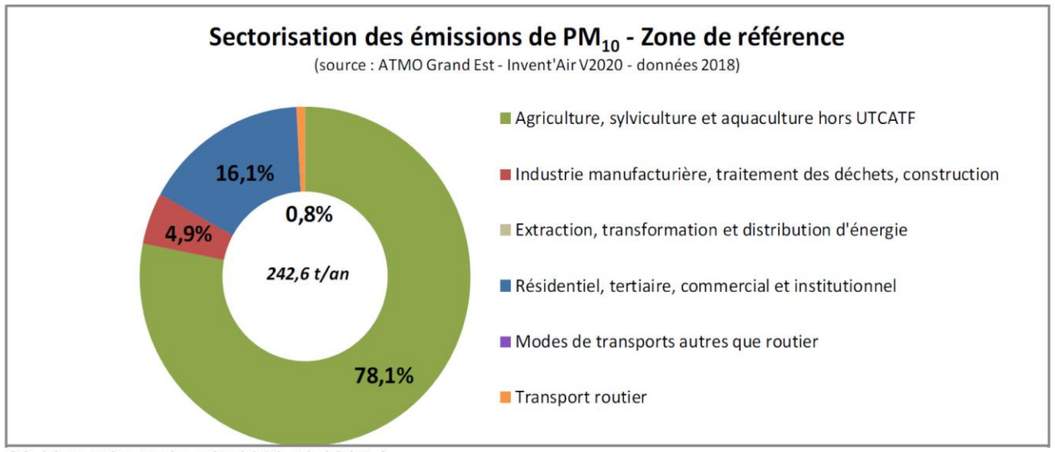
Les niveaux moyens annuels de ce composé, qui est, pour rappel, issu de combustions incomplètes, sont faibles et stables depuis le début des mesures en 2011 (entre 0,1 mg/m³ et 0,2 mg/m³). Ils correspondent à des niveaux de fond. La moyenne glissante maximale sur huit heures reste inférieure à 1 mg/m³.

Les concentrations mesurées en CO demeurent très faibles et largement inférieures aux différentes valeurs réglementaires.

2.5.1.4.5 Particules PM_{10}

Émissions de polluants par secteur :

Le secteur relatif à l'agriculture-sylviculture-aquaculture représente la principale source d'émissions de PM_{10} (78 %), en raison du caractère agricole et rural (cf. Figure 2-28). Le secteur résidentiel-tertiaire-commercial et institutionnel émet quant à lui 16 % des PM_{10}.

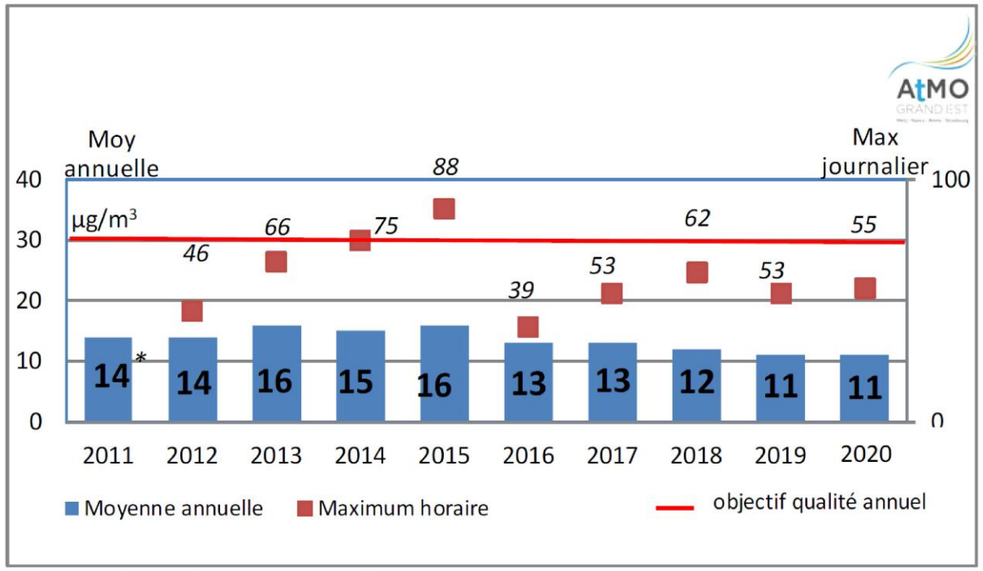


CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0387-C

Figure 2-28 Sectorisation des émissions de PM_{10} en 2019

Mesures réalisées :

La figure 2-29 présente l'évolution des concentrations annuelles et des *maxima* journaliers depuis la mise en service de la station d'Houdelaincourt.



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0059-E

Figure 2-29 Évolution des concentrations annuelles et des maxima journaliers en PM_{10} à Houdelaincourt (2011-2020)

Depuis le début des mesures en PM_{10}, les concentrations moyennes annuelles observées ont varié entre 11 µg/m³ et 16 µg/m³.

Lors de conditions météorologiques défavorables à une bonne dispersion des masses d'air (généralement entre janvier et mars, parfois en été), des hausses ponctuelles sont observées chaque année.

Concernant les *maxima* journaliers mesurés depuis 2011, ils oscillent entre 39 µg/m³ en 2016 et 88 µg/m³ en 2015 (temps ensoleillé et froid, combiné à une très nette inversion thermique, et des hausses d'émissions en polluants à cette période).

Des hausses ponctuelles marquées et sur de courtes durées se produisent parfois en particules PM_{10}, tout comme les années antérieures. Elles sont généralement observées lors de conditions météorologiques défavorables à une bonne dispersion des masses d'air (air stable).

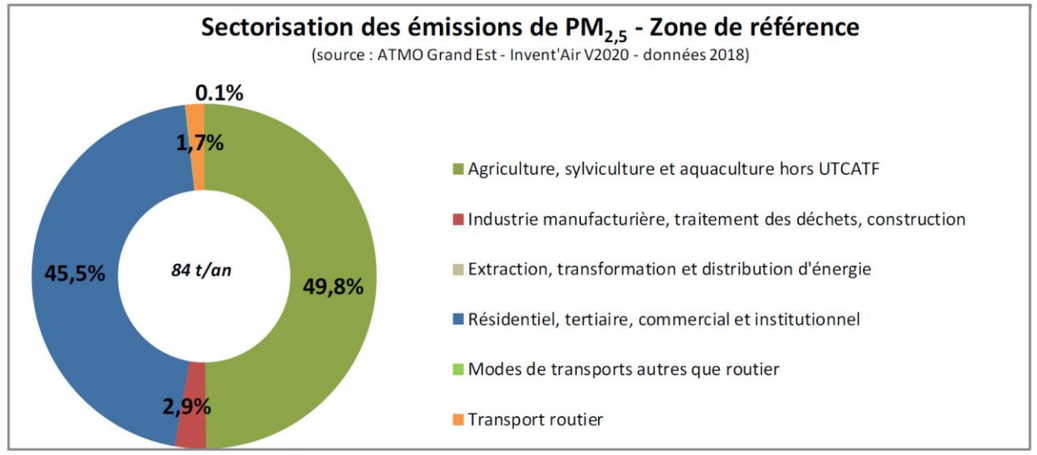
La moyenne annuelle à Houdelaincourt, pouvant être assimilée à un niveau moyen de fond rural, est inférieure à ce que l'on peut mesurer dans les zones urbaines de fond dans le Grand Est.

Les niveaux obtenus en PM_{10} respectent les différentes valeurs réglementaires. Le seuil d'information - recommandations a été dépassé au niveau de la station d'Houdelaincourt le 28 mars 2020, sans déclenchement de la procédure. Quant au seuil d'alerte, il n'a pas été atteint en 2020 sur le site.

2.5.1.4.6 Particules $PM_{2,5}$

Émissions de polluants par secteur :

Pour les $PM_{2,5}$, les secteurs regroupant les activités agricole et sylvicole et résidentiel-tertiaire représentent, à eux seuls, plus de 95 % des émissions totales (cf. Figure 2-30). Les secteurs liés au transport routier et à l'industrie manufacturière émettent une part beaucoup plus faible des $PM_{2,5}$, seulement 4,6 %.



CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0414-C

Figure 2-30 Sectorisation des émissions de $PM_{2,5}$ en 2019

Mesures réalisées :

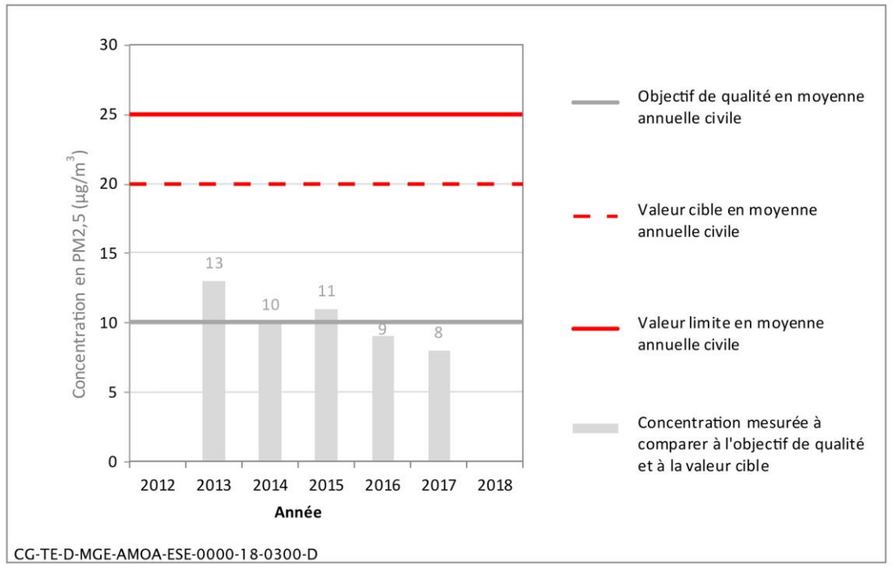


Figure 2-31 Évolution des concentrations en $PM_{2,5}$ sur Houdelaincourt (2012-2018)

Les concentrations moyennes annuelles mesurées à la station d'Houdelaincourt sont disponibles sur la période 2013-2017[7]. Pour des raisons techniques liées aux appareils de mesures, les résultats ne sont pas disponibles pour les années 2019 et 2020.

Depuis 2013, la concentration moyenne annuelle mesurée à Houdelaincourt est stable. Les teneurs en $PM_{2,5}$ mesurées sont comprises entre 13 µg/m³ et 8 µg/m³ (cf. Figure 2-31). Ces concentrations moyennes annuelles mesurées à Houdelaincourt peuvent être assimilées à un niveau moyen de fond rural. Ces concentrations restent inférieures aux moyennes régionales, qui varient entre 14 µg/m³ et 10 µg/m³ entre 2015 et 2019 en situation de fond urbain.

L'objectif de qualité a été dépassé en 2013 et 2015. Toutefois les valeurs cibles et valeurs limites (fixées respectivement à 20 µg/m³ et 25 µg/m³) n'ont pas été atteintes.

Les $PM_{2,5}$ ne sont pas concernées, ni par un seuil d'information et de recommandation, ni par un seuil d'alerte.

Les mesures des *maxima* journaliers mettent en évidence quelques hausses ponctuelles en cours d'année. Elles se produisent généralement entre décembre et mars, lors de conditions météorologiques particulièrement défavorables à de bonnes conditions de dispersion des masses d'air (temps froid, air stable…).

2.5.1.4.7 Benzène

Le benzène est un composé organique volatil non méthanique (COVNM). Il est le seul COV faisant l'objet d'une règlementation.

Émissions de polluants par secteur :

Sur l'aire d'étude rapprochée, le benzène provient essentiellement du secteur résidentiel-tertiaire-commercial et institutionnel (84 %), et du secteur agricole-sylvicole-aquacole (12 %) (cf. Figure 2-32).

[7] En raison de problèmes techniques rencontrés au niveau de l'appareil de mesures, les résultats ne sont pas disponibles en 2018. À titre indicatif, le taux de fonctionnement atteint 11 % cette année-là.

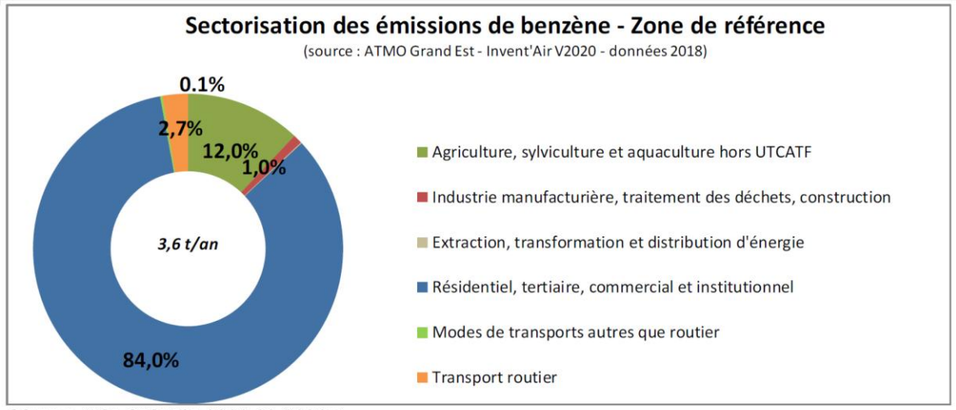


Figure 2-32 Sectorisation des émissions de benzène en 2019

Mesures réalisées :

En 2020, des campagnes de mesures du benzène ont été réalisées à la station d'Houdelaincourt ; les résultats sont présentés à la figure 2-33. Avant 2020, le benzène ne faisait pas l'objet de suivi continu.

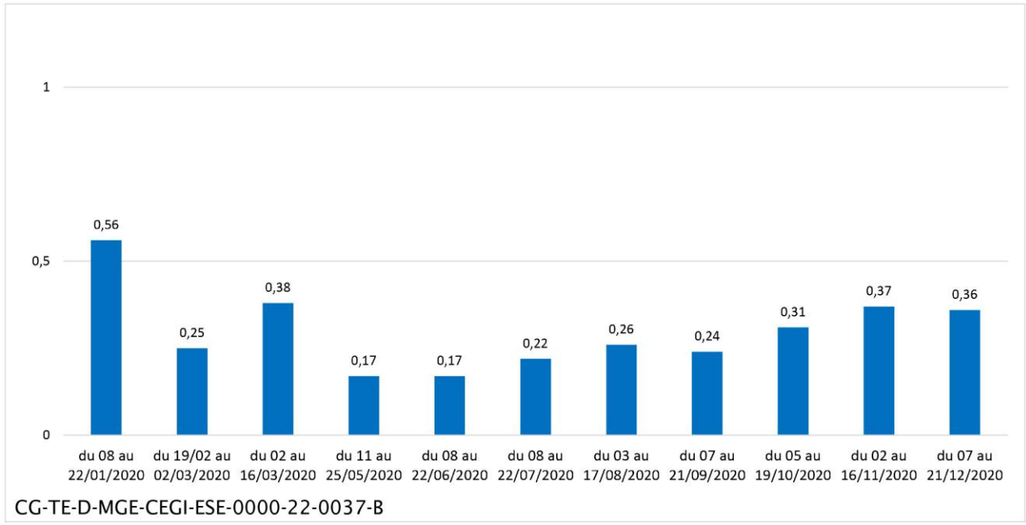


Figure 2-33 Concentrations moyennes obtenues en benzène par campagne de mesures à Houdelaincourt en 2020

La valeur moyenne annuelle du benzène est de 0,3 µg/m³ en 2020. À titre indicatif, la concentration de benzène a été mesurée lors d'une campagne mobile effectuée en 2015 à proximité de la zone puits : les valeurs moyennes obtenues étaient comprises entre 0,4 µg/m³ et 0,7 µg/m³.

Ces résultats sont inférieurs à l'objectif de qualité fixé à l'échelle annuelle de 2 µg/m³ et à la valeur limite annuelle fixée à 5 µg/m³. Les concentrations sont également inférieures aux moyennes régionales.

2.5.1.4.8 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Émissions de polluants par secteur :

Le secteur résidentiel-tertiaire-commercial et institutionnel émet les quatre-cinquièmes des HAP (82 %) (cf. Figure 2-34). Vient ensuite pour 10 % le secteur regroupant les activités agricole et sylvicole, puis dans une proportion plus faible, près de 7 %, le transport routier.

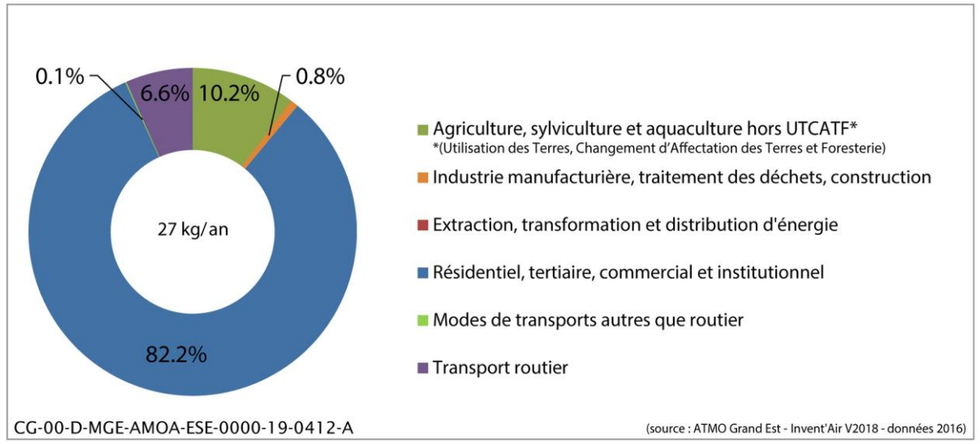


Figure 2-34 Émissions des HAP par secteur d'activité en 2017

Mesures réalisées :

En 2020, des prélèvements de HAP dans les PM_{10} ont été réalisés, avec comme périodicité un prélèvement sur vingt-quatre heures réalisé tous les six jours.

Cependant, en raison de divers problèmes d'ordre technique rencontrés tout au long de l'année (blancs non conformes, soucis liés aux filtres et/ou aux volumes, à la température trop élevée de la station…), et suite aux confinements dus à la crise sanitaire liée au Covid, le nombre de résultats exploitables est insuffisant (seulement 36 prélèvements), ce qui ne permet pas le calcul d'une valeur moyenne annuelle en benzo(a)pyrène, seul composé actuellement réglementé. Par conséquent, les valeurs minimales et maximales relevées en 2020 sont présentées sur la figure 2-35.

	Composé	Valeur minimale*	Valeur maximale
HAP réglementé	Benzo(a)pyrène	0,01	0,34
HAP non réglementés	Chrysène	0,01	0,29
	Benzo(j)fluoranthène	0,01	0,31
	Benzo(g,h,i)pérylène	0,01	0,49
	Dibenzo(a,h)anthracène	0,01	0,02
	Benzo(a)anthracène	0,01	0,16
	Benzo(e)pyrène	0,01	0,41
	Benzo(b)fluoranthène	0,01	0,60
	Benzo(k)fluoranthène	0,01	0,24
	Indeno(1,2,3-cd)pyrène	0,01	0,50

* Pour rappel, lorsque les valeurs identifiées sont inférieures à la valeur limite de quantification (LQ), elles sont remplacées par la valeur de la LQ/2 (0,01 ng/m³).

CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-21-0034-B

Figure 2-35 Valeurs minimales et maximales obtenues en HAP (ng/m³) dans les PM_{10} à Houdelaincourt en 2020

Concernant la répartition des divers composés mesurés, tout comme les années précédentes, le benzo(b)fluoranthène reste le HAP présentant les teneurs moyennes les plus élevées : ce composé représente 18 % des HAP mesurés en 2020 (16 % en 2019, 17 % en 2018 et 18 % en 2017). À l'inverse, les plus faibles concentrations moyennes proviennent du dibenzo (a, h) anthracène, qui ne représente que 0,6 % (2 % en 2019 et 2018, 1 % en 2017). Ce constat est cohérent avec les éléments fournis dans la littérature.

Les HAP présentent des concentrations moyennes plus élevées en automne-hiver qu'en été. Ce constat est dû :

- à l'utilisation du chauffage (notamment le bois-énergie) accrue en période hivernale, d'où une hausse des émissions liée à cette activité ;
- à des conditions météorologiques plus rigoureuses en cette période de l'année (températures basses, inversions thermiques limitant ainsi une bonne dispersion des polluants) ;
- au processus de dégradation des HAP qui est accentué l'été, lié à la photochimie et aux températures plus élevées.

2.5.1.4.9 Les éléments traces métalliques (ETM) : nickel, arsenic, plomb, cadmium

Les métaux lourds sont recherchés dans les fractions des particules fines en suspension de diamètre inférieur ou égal à 10 microns.

L'article R. 221-1 du code de l'environnement, fixe, pour le nickel, l'arsenic, le cadmium et le plomb en phase particulaire, une valeur cible en moyenne annuelle à respecter pour les trois premiers métaux lourds, ainsi qu'une valeur limite et un objectif de qualité pour le plomb.

Émissions de polluants par secteur :

Les ETM précités proviennent du secteur résidentiel-tertiaire-commercial et institutionnel (près de 60 %) et du secteur du transport routier (plus de 26 %, cf. Figure 2-36). L'industrie manufacturière-traitement des déchets-construction est à l'origine de près de 15 % de ces composés.

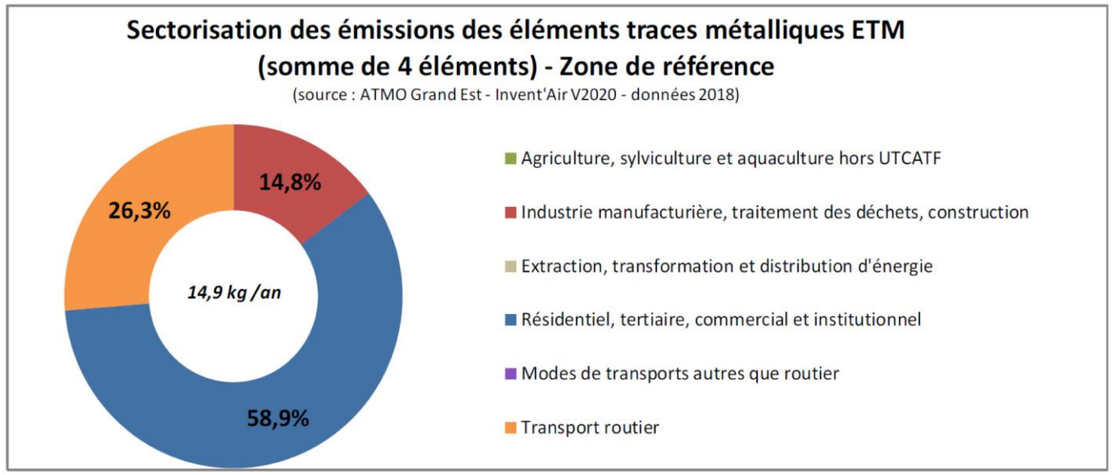


Figure 2-36 Sectorisation des émissions des éléments traces métalliques en 2019

Mesures réalisées :

En 2020, 24 prélèvements ont été réalisés (dont huit blancs terrain), avec comme périodicité un prélèvement sur 14 jours. Ils ont commencé le 9 janvier 2020 et se sont achevés le 5 janvier 2021. La couverture temporelle est ainsi de 90 % (331 jours). La figure 2-37 présente les concentrations moyennes annuelles mesurées en 2020.

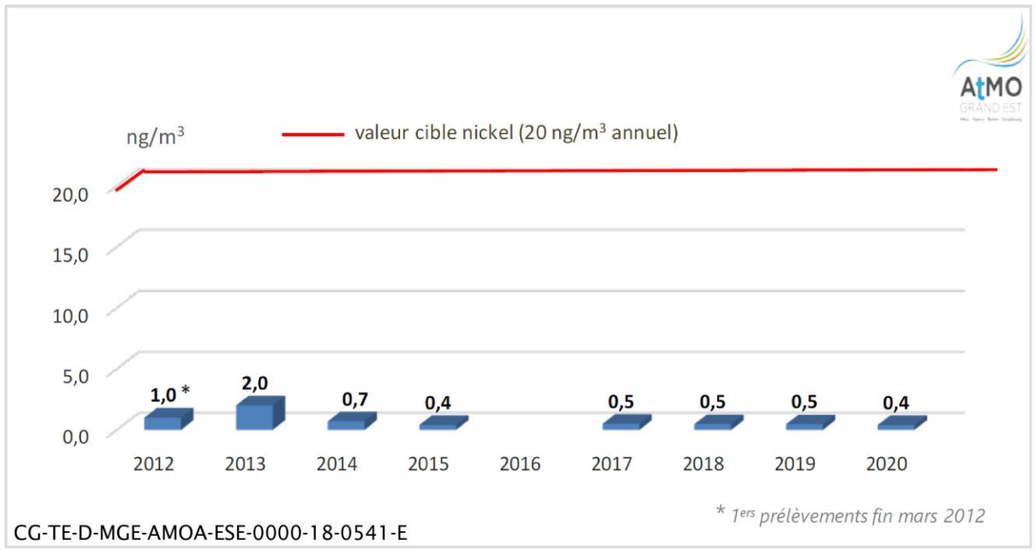
	Composé	Moyenne annuelle 2020 en ng/m³ (sauf le plomb en µg/m³)
Eléments traces métalliques	Nickel	<1 (0,4)
	Arsenic	<1 (0,2)
	Cadmium	<1 (0,1)
	Plomb	<0,1 (0,0023)

CG-TE-D-MGE-CEGI-ESE-0000-21-0036-B

Figure 2-37 *Teneurs moyennes obtenues en éléments traces métalliques dans les PM_{10} à Houdelaincourt en 2020*

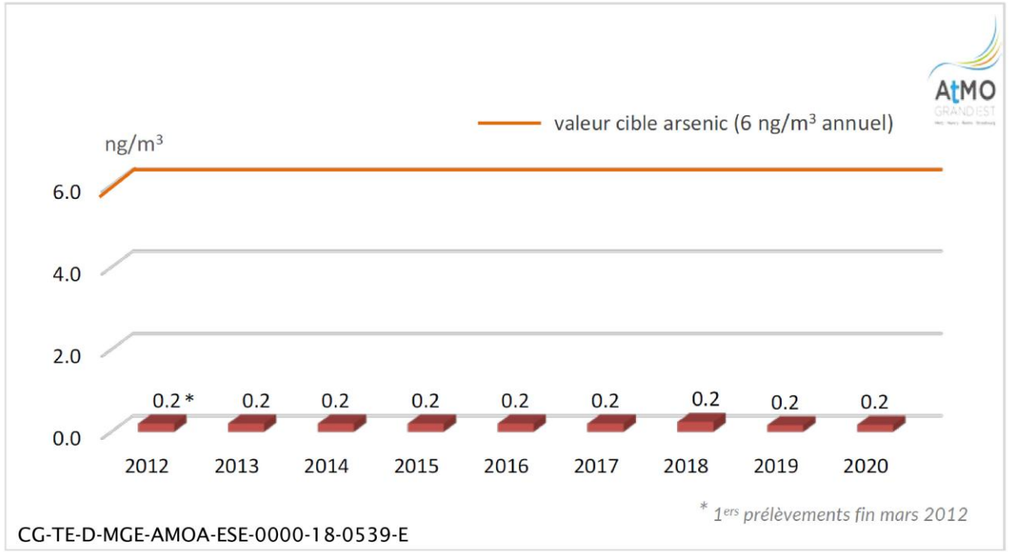
Les teneurs moyennes mesurées et leur évolution depuis 2012 pour le nickel, l'arsenic, le cadmium et le plomb sont respectivement présentées à la figure 2-38, la figure 2-39, la figure 2-40 et la figure 2-41. L'évolution des concentrations moyennes annuelles en éléments traces métalliques depuis 2012 indique qu'elles demeurent très faibles et bien en deçà des divers seuils réglementaires : des valeurs annuelles en nickel comprises entre 0,4 ng/m³ et 2 ng/m³, un niveau moyen de 0,2 ng/m³ chaque année en arsenic, et pour le cadmium une valeur moyenne annuelle de 0,1 ng/m³ chaque année. Concernant le plomb, les teneurs moyennes annuelles sont toutes inférieures à 4 ng/m³.

Les variations des niveaux en éléments traces métalliques au cours de l'année sont notamment à relier aux conditions météorologiques rencontrées lors des mesures. On observe quelques épiphénomènes, avec une tendance à l'élévation générale des niveaux de fond fin mars-début avril (temps sec et ensoleillé, accompagné d'un épisode de pic de pollution aux PM_{10}), puis vers fin juin-début juillet lors d'un épisode de canicule exceptionnelle, et enfin fin août-début septembre (temps bien ensoleillé et sec).



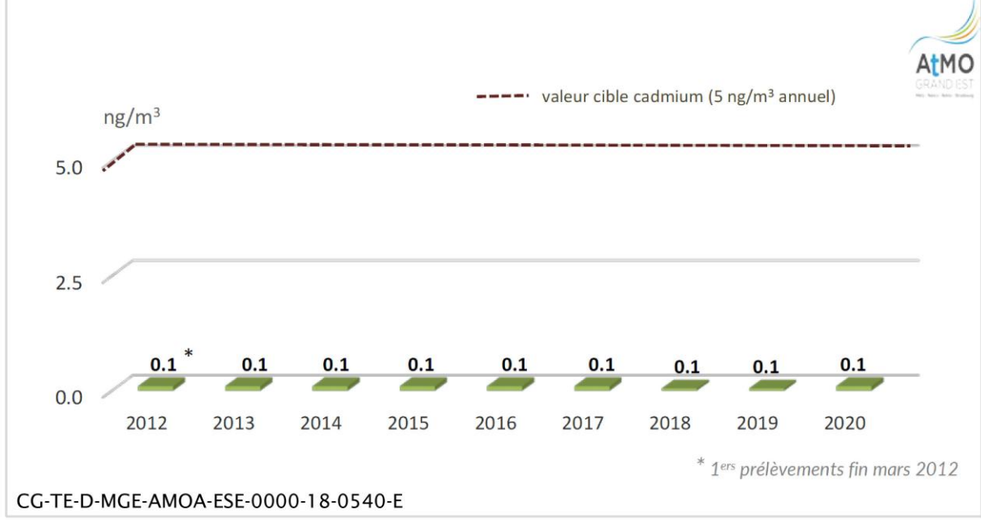
CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0541-E

Figure 2-38 *Évolution des concentrations en nickel dans les PM10 à Houdelaincourt (2012-2020)*



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0539-E

Figure 2-39 *Évolution des concentrations en arsenic dans les PM10 à Houdelaincourt (2012-2020)*



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0540-E

Figure 2-40 *Évolution des concentrations en cadmium dans les PM10 à Houdelaincourt (2012-2020)*

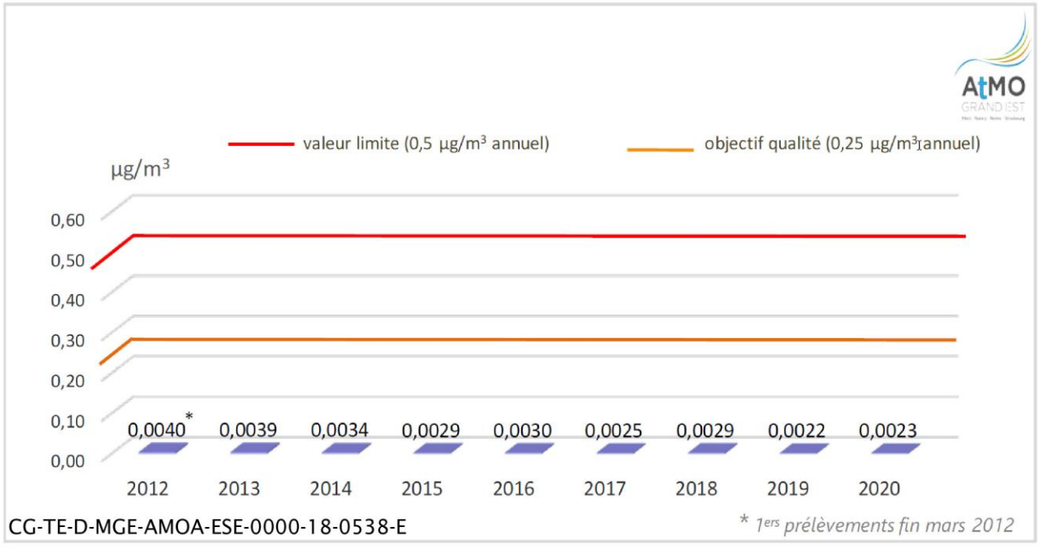


Figure 2-41 *Évolution des concentrations en plomb dans les PM10 à Houdelaincourt (2012-2020)*

2.5.2 Radioactivité dans l'air

2.5.2.1 Généralités sur le bruit de fond radiologique

La radioactivité est un phénomène naturel qui existe depuis l'origine de l'Univers il y a des milliards d'années lorsque les atomes se sont formés. Des éléments radioactifs sont créés en permanence dans la haute atmosphère sous l'effet du rayonnement cosmique, qualifiés de radionucléides cosmogéniques (tritium, carbone 14, krypton 85, béryllium 7 et sodium 22). La radioactivité peut aussi être créée artificiellement par des activités humaines (cf. Chapitre 1.1 du volume II de la présente étude d'impact).

» BECQUEREL

Le becquerel (Bq) est l'unité internationale de mesure de la radioactivité.

Le nombre de Becquerel correspond au nombre de désintégrations qui se produisent à chaque seconde au sein d'une certaine masse de matière contenant des radionucléides.

» BRUIT DE FOND RADIOLOGIQUE

On désigne par « bruit de fond radiologique », les niveaux de radioactivité des différents éléments radioactifs présents dans l'environnement, en dehors de toute influence anthropique actuelle (industrie nucléaire, autres industries, rejets hospitaliers…). Ce bruit de fond résulte d'une part de sources naturelles, et d'autre part de la rémanence d'éléments radioactifs artificiels qui ont concerné l'ensemble du territoire ; il s'agit notamment des retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires et des retombées de l'accident de Tchernobyl.

Il est rappelé que l'état initial radiologique présenté dans la présente étude d'impact n'a pas pour objectif de faire un état de référence vis-à-vis de la future surveillance de l'environnement mais de caractériser le bruit de fond radiologique du secteur de cette zone éloignée de toute activité nucléaire à l'aide de quelques points représentatifs pour chaque grand milieu environnemental : air (présent chapitre), sols (cf. Chapitre 3.3.6 du présent volume), sous-sols (cf. Chapitre 4.4 du présent volume), eaux souterraines (cf. Chapitre 5.3.3.3 du présent volume), eaux superficielles et milieu aquatique (cf. Chapitre 5.4.4.2 du présent volume), matrices animales et végétales sauvages (cf. Chapitres 6.15 du présent volume) et productions agricoles (cf. Chapitre 8.3.2.8.1 du présent volume). En l'absence de sources nouvelles de radioactivité, ce bruit de fond radiologique est considéré comme stable.

Plusieurs campagnes de prélèvements et d'analyse ont été réalisées pour établir l'état initial du bruit de fond radiologique des différents milieux de l'environnement, ce qui a conduit à recueillir plusieurs milliers de résultats. Seuls les résultats les plus pertinents au regard des activités du futur centre de stockage Cigéo sont présentés dans le vol. III de la présente étude d'impact.

Dans le cadre du suivi en continu de la radioactivité de l'air menée par l'Andra à la station atmosphérique d'Houdelaincourt (membre de l'Observatoire permanent de la radioactivité de l'air (réseau OPERA) piloté par l'ex. IRSN, aujourd'hui intégrée à l'Autorité de sûreté nucléaire et de radioprotection, ASNR), depuis 2011, l'apport atmosphérique induit par les activités ou accidents nucléaires (notamment Fukushima) est détecté.

Un état initial radiologique actualisé pour chaque grand milieu environnemental sera présenté dans l'étude d'impact liée à la demande d'autorisation de mise en service.

2.5.2.2 Contexte radiologique de l'aire d'étude éloignée

Dans l'aire d'étude éloignée, le contexte est le suivant :

- la géologie du sous-sol (calcaires, marnes et argiles en profondeur) n'est pas propice à la présence d'éléments radioactifs naturels des familles de l'uranium et du thorium et à la présence de radon ;
- les retombées sur l'ensemble du globe terrestre des tirs atmosphériques d'armes nucléaires sont détectées à des niveaux faibles ;
- du fait d'une altitude modeste et d'une pluviométrie faible pendant les retombées de l'accident de Tchernobyl de 1986, les dépôts radioactifs ont été modérés dans l'aire d'étude éloignée ;
- des traces de radionucléides (par exemple, iode-131, césium-134 et césium-137) imputables à l'accident de Fukushima ont été détectées en France métropolitaine de façon temporaire du fait de leur faible période radioactive (fin mars jusqu'en mai 2011). L'influence de ces dépôts sur la radioactivité ambiante sur les milieux environnementaux (air, sols, eaux, productions animales et végétales) n'est plus mesurable depuis mi-2011 ;
- le projet global Cigéo se trouve dans une zone éloignée de toute activité nucléaire : le centre CEA de Valduc (au sud), la centrale électronucléaire de Nogent-sur-Seine (à l'ouest), la centrale électronucléaire de Cattenom (au nord-nord-est) sont en effet éloignés de 120 km à 140 km. La centrale électronucléaire de Chooz, en démantèlement, est située à 200 km au nord-nord-ouest et l'usine de retraitement de La Hague est à près de 600 km à l'ouest. Les centres de stockage de l'Andra à Soulaines (CSA) et Morvilliers (Cires) sont plus proches (environ 50 km à l'ouest). Leur impact en termes de présence d'éléments radioactifs artificiels (marquage radiologique de l'environnement) n'est pas détectable dans l'aire d'étude éloignée.

2.5.2.3 Paramètres mesurés dans l'air

Les caractéristiques de la radioactivité dans l'air étudiées au niveau de la station atmosphérique d'Houdelaincourt sont représentatives d'une large zone, comme il a été présenté précédemment (cf. Chapitre 2.1.2 du présent volume).

La radioactivité dans l'air est mesurée en continu dans les phases gazeuses et particulaires (appelées aussi aérosols) de l'atmosphère, hors ^{222}Rn et ^{85}Kr qui ont fait l'objet de campagnes de mesures spécifiques. L'ensemble des paramètres mesurés sur des prélèvements réguliers (hebdomadaires, mensuels ou trimestriels selon les méthodes d'analyse) de piégeage de gaz ou de particules atmosphériques, ainsi que les moyens d'analyse sont détaillés au chapitre 2.5.2 du volume VII de la présente étude d'impact.

Afin de disposer d'une connaissance complète de l'état radiologique dans l'air, un large panel d'éléments radioactifs a été mesuré, en tenant compte d'une part des éléments identifiés comme terme source des rejets du centre de stockage Cigéo (cf. Chapitre 2.4.2 du volume IV de la présente étude d'impact) : le tritium (^{3}H), le ^{14}C, le ^{85}Kr et des aérosols émetteurs alpha et beta, et d'autre part des éléments sur lesquels le projet n'a pas d'incidence (uranium naturel ou césium issu de l'accident de Tchernobyl par exemple).

Les principaux éléments radioactifs mesurés pour l'élaboration de l'état radiologique actuel dans l'air sont présentés dans le tableau 2-17 ci-dessous.

Tableau 2-17 Liste des principaux éléments radioactifs mesurés dans l'air

Sources		Éléments radioactifs
Naturelle	**Cosmogénique (provenant de la haute atmosphère sous l'effet des rayons cosmiques)**	^{7}Be, ^{22}Na, ^{3}H, ^{14}C Émetteurs gamma (incluant ^{129}I)
	Tellurique (provenant des couches géologiques)	^{40}K ^{232}Th et descendants ^{235}U et descendants ^{238}U, ^{234}U et descendants Radon
Artificielle	**Essais nucléaires**	^{14}C $^{239+240}Pu$, ^{238}Pu, ^{241}Am ^{137}Cs ^{90}Sr
	Accident de Tchernobyl	^{137}Cs
	Accident de Fukushima	^{134}Cs, ^{137}Cs
	Médecine nucléaire	^{131}I
	Industrie nucléaire	^{3}H ^{14}C ^{85}Kr

Les données présentées dans les chapitres ci-après (hormis ^{85}Kr et ^{222}Rn) sont issues des résultats obtenus sur les différents prélèvements atmosphériques réalisés à la station OPE/OPERA d'Houdelaincourt, depuis 2011. Le dernier rapport disponible porte sur la période 2019-2021. Pour le ^{85}Kr, des mesures spécifiques ont été réalisées sur la période de décembre 2010 à mars 2012. Pour le ^{222}Rn, des mesures d'exhalation de radon à la surface du sol ont été réalisées sur une période de trois mois en 2009 à l'aide d'un appareil BARASOL, ainsi que des mesures d'activité volumique de radon à 1 m du sol en 2009 à l'aide d'un appareil RADHOME HR.

2.5.2.3.1 Gaz

a) ^{3}H (tritium)

Le tritium est un isotope[8] radioactif de l'hydrogène très mobile dans l'environnement et dans tous les systèmes biologiques. Le tritium naturel est dit « cosmogénique ». Il provient de l'interaction du rayonnement cosmique avec divers constituants de l'atmosphère (azote, oxygène, argon). Il est également émis dans l'environnement par l'industrie et les essais nucléaires. Bien que sa période radioactive soit courte (12,3 ans), le tritium est présent en permanence dans l'environnement. Le tritium mesuré provient pour l'essentiel de l'action des rayons cosmiques.

À la station atmosphérique d'Houdelaincourt, le tritium dans l'air est échantillonné par un barboteur piégeant le tritium atmosphérique dans de l'eau (méthode décrite dans le chapitre 2.5.2 du volume VII de la présente étude d'impact).

Les niveaux de radioactivité de l'eau de piégeage en ^{3}H (sous ses différentes formes) mesurés à Houdelaincourt varient de moins de 0,52 $Bq.L^{-1}$ à 1,78 $Bq.L^{-1}$ sur la période 2019-2021 avec une moyenne d'environ 0,92 $Bq.L^{-1}$. Ces niveaux de radioactivité en tritium mesurés dans l'eau de piégeage correspondent en moyenne à quelques $mBq.m^{-3}$ dans l'air (un becquerel par litre de tritium dans la vapeur d'eau de l'air correspondant à 0,01 Bq par mètre cube d'air en considérant par exemple un volume de solution de piégeage de 150 mL et un volume d'air sur la période de mesure d'environ 15 m^{3}). Ces niveaux correspondent au bruit de fond naturel d'un environnement situé à l'écart de l'influence des activités nucléaires actuelles et au niveau d'activité moyenne mesurée dans l'air en France (cf. Figure 2-43) (43).

» MILLI

Milli (symbole m) est le préfixe du Système international d'unités (SI) qui représente 10^{-3}, soit un millième d'unité.

b) ^{14}C (carbone 14)

Comme le tritium, le ^{14}C (période radioactive de 5 730 ans) naturel présent dans l'air est cosmogénique. Il est formé lors de l'absorption de neutrons par des atomes d'azote de la stratosphère et des couches hautes de la troposphère. Il est également produit artificiellement par l'industrie et les essais nucléaires.

Le ^{14}C gazeux se répartit dans l'air sous forme minérale (CO_2) et sous forme organique non oxydée de type hydrocarbures (CH_4, C_2H_6, …). Le ^{14}C peut également exister sous forme particulaire mais sa contribution au ^{14}C total atmosphérique est jugée secondaire.

Les niveaux de radioactivité en ^{14}C mesurés sur la période 2016-2018 par la méthode de scintillation liquide varient entre 47 $mBq.m^{-3}$ et 105 $mBq.m^{-3}$ avec une moyenne de 75 $mBq.m^{-3}$.

L'activité moyenne en ^{14}C gazeux (CO_2 + CH_4) est de 53 $mBq.m^{-3}$ sur la période 2019-2021.Depuis le début de l'année 2021, les mesures de ^{14}C gazeux sont réalisées exclusivement par spectrométrie de masse par accélérateur (SMA) afin d'obtenir des valeurs plus représentatives et de diminuer les incertitudes par rapport à celles de la mesure par scintillation liquide (entre 15 % et 50 %).

Ces niveaux correspondent au bruit de fond naturel d'un environnement situé à l'écart de l'influence des activités nucléaires actuelles et au niveau d'activité moyenne mesurée dans l'air en France (cf. Figure 2-43) (43).

[8] Pour rappel, les isotopes sont des atomes qui possèdent le même nombre d'électrons mais un nombre différent de neutrons (cf. Chapitre 1.1 du volume II de la présente étude d'impact).

c) ^{85}Kr (krypton 85)

Le ^{85}Kr d'origine naturelle est produit par l'action des rayons cosmiques sur les isotopes stables du krypton, il est cosmogénique. Il se disperse dans l'atmosphère sans entrer dans le cycle naturel de l'eau, du fait de sa très faible solubilité dans les eaux de pluie. Son taux d'élimination dans l'atmosphère est faible et résulte principalement de sa décroissance radioactive (période radioactive de 10,7 ans). Le ^{85}Kr est également émis artificiellement par l'industrie nucléaire, principalement en lien avec le retraitement du combustible nucléaire.

Le ^{85}Kr est mesuré par des prélèvements spécifiques qui nécessitent une étape de concentration sur du charbon actif à très basse température. La mesure du ^{85}Kr concentré est ensuite réalisée par spectrométrie gamma.

Le niveau de radioactivité en ^{85}Kr mesuré à Houdelaincourt sur la période de décembre 2010 à mars 2012 est d'environ 2 Bq.m^{-3}. Les activités de 85Kr mesurées en Allemagne peuvent être considérées comme représentatives du bruit de fond radiologique français. En France, l'influence spécifique des rejets de l'usine de La Hague vient s'ajouter à ce bruit de fond (43). L'activité maximale sur la période de décembre 2010 à mars 2012 est de 5 Bq/m^3 ; elle a été mesurée le 17 mai 2011, dans des conditions de vent particulièrement favorables pour refléter l'influence occasionnelle du centre de retraitement Orano de La Hague.

d) ^{222}Rn (radon)

Le radon se forme par désintégration du radium au sein de la chaîne de désintégration radioactive de l'uranium et du thorium, éléments naturellement contenus dans les roches ou le sol. L'uranium et le thorium sont présents dans la croûte terrestre depuis sa formation et leurs isotopes les plus communs ont de très longues périodes radioactives (bien au-delà du milliard d'années pour ^{235}U, ^{238}U et ^{232}Th). L'uranium et le thorium continueront donc à naturellement produire du radon pendant des milliards d'années. Le radon est émis dans l'air par exhalation.

» EXHALATION

L'exhalation est l'émission par la surface du sol d'éléments gazeux dans l'air.

Les roches constitutives du sous-sol local (calcaires, marnes et argiles en profondeur) contiennent naturellement peu de minéraux riches en uranium et thorium (cf. Chapitre 4.4 du présent volume). Les émissions de radon sont donc faibles en Meuse et en Haute-Marne. La carte IRSN des risques radon en France montre que l'aire d'étude est dans la catégorie faible (https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/environnement/cartographie-potentiel-radon-formations-geologiques).

Des mesures d'exhalation de radon à la surface du sol, réalisées sur une période de trois mois en 2009 à l'aide d'un appareil BARASOL, indiquent des niveaux compris entre 9,3 x 10^{-3} et 2,5 x 10^{-2} Bq.m^{-2}.s^{-1}. La localisation des points de mesure d'exhalation radon est présentée sur la figure 2-42.

Des mesures d'activité volumique de radon à 1 m du sol ont été réalisées en 2009 à l'aide d'un appareil RADHOME HR ; ces mesures indiquent des niveaux moyens de 23 Bq.m^{-3} le jour et de 38 Bq.m^{-3} la nuit.

Par ailleurs, l'émission de ^{222}Rn est périodiquement contrôlée dans les galeries du Laboratoire souterrain. Les niveaux mesurés sont inférieurs à la limite de détection de l'appareil utilisé, de l'ordre de 90 Bq.m^{-3}.

2.5.2.3.2 Aérosols (particules) dans l'air

Afin de quantifier la radioactivité des particules dans l'air et vu les faibles niveaux ambiants, des collecteurs de très grands débits sont utilisés afin de disposer de quantité de matière suffisante. Les éléments radioactifs recherchés sont mesurés par spectrométrie gamma selon la méthode AIEA n° 295 (44).

» SPECTROMÉTRIE GAMMA

La spectrométrie gamma est une technique de mesure nucléaire très utilisée pour identifier des éléments radioactifs par la mesure de l'énergie des rayonnements gamma émis, à l'opposé de la technique utilisant un compteur Geiger qui lui ne détecte que la présence de rayonnement gamma sans pouvoir fournir une information sur la nature de la source détectée.

a) ^{40}K (potassium 40)

Le potassium est un élément constitutif de la croûte terrestre, qui se retrouve naturellement dans les poussières de sols et de végétaux mises en suspension dans l'air. Les niveaux de radioactivité dans l'air en ^{40}K montrent généralement une saisonnalité, avec des niveaux plus élevés au printemps (avril) et en été (juillet et août), due aux activités agricoles remettant en suspension les particules de sol ou de végétaux.

À Houdelaincourt, les niveaux de radioactivité les plus élevés sont observés en été, période où les activités agricoles génératrices de poussières sont plus fréquentes et les sols plus secs. Sur la chronique 2011-2021, les aérosols montrent un niveau moyen de radioactivité de 5,4 µBq.m^{-3} avec une variation comprise entre 0,7 µBq.m^3 et 22,6 µBq.m^3.

Ces valeurs correspondent au bruit de fond naturel et au niveau d'activité moyenne mesurée dans l'air en France (cf. Figure 2-43) (43).

» MICRO

Micro (symbole µ) est le préfixe du système international d'unités (SI) qui représente 10^{-6}, soit un millionième d'unité.

b) ^{7}Be (béryllium 7) et ^{22}Na (sodium 22)

Le ^{7}Be et le ^{22}Na sont des éléments radioactifs naturels cosmogéniques. L'évolution au cours du temps des concentrations de ces deux radionucléides est similaire compte tenu de leur sources de production réparties entre la haute troposphère et la basse stratosphère.

Les niveaux de radioactivité en ^{7}Be et en ^{22}Na, mesurés à la station d'Houdelaincourt depuis 2011, présentent une variation saisonnière, avec des teneurs plus élevées en été.

La radioactivité moyenne en ^{7}Be sur la chronique 2011-2021 est de 3,54 mBq.m^{-3} avec une variation comprise entre 0,27 mBq.m^{-3} et 8,9 mBq.m^{-3}. Ces valeurs correspondent au bruit de fond naturel et au niveau d'activité moyenne mesurée dans l'air en France (cf. Figure 2-43) (43).

La radioactivité moyenne en ^{22}Na sur la chronique 2011-2021 est de 0,36 µBq.m^3 avec une variation comprise entre 0,03 µBq.m^{-3} à 1,15 µBq.m^{-3}. Ces niveaux d'activités correspondent à ceux mesurés dans des stations de surveillance radiologique atmosphérique du réseau OPERA de la même zone géographique (Dijon et Charleville-Mézières).

c) ^{210}Pb (plomb 210)

Le ^{210}Pb est formé par la décroissance de l'^{238}U naturellement présent dans l'écorce terrestre. Sa concentration atmosphérique dépend notamment du flux d'exhalation du radon. Ce flux varie avec la nature géologique et les caractéristiques des sols, notamment leur hygroscopicité. Pour un sol donné, il varie selon les conditions météorologiques en particulier la pression, l'humidité ambiante et les précipitations. Le niveau d'activité volumique en ^{210}Pb passe généralement par un minimum au printemps et augmente progressivement jusqu'en hiver.

Son niveau de radioactivité moyen mesuré sur la période 2011-2021 est de 434,1 µBq.m^{-3}, avec des variations entre 56 µBq.m^{-3} et 1 940 µBq.m^{-3}.

Ces valeurs correspondent au bruit de fond naturel et au niveau d'activité moyenne mesurée dans l'air en France (cf. Figure 2-43) (43).

d) ^{137}Cs (césium 137)

Le ^{137}Cs est un produit de fission de l'uranium.

Des quantités plus ou moins importantes de cet élément ont été relâchées dans l'atmosphère, d'abord dans les années 1940 et 1950 lors des essais nucléaires à l'air libre, puis lors des accidents nucléaires de Tchernobyl et de Fukushima.

»FISSION

La fission est l'éclatement d'un atome lourd en atomes plus légers lors de la collision entre un atome et un neutron par exemple. Cette réaction est accompagnée d'une émission de neutrons, de rayonnements ionisants et d'un dégagement de chaleur. C'est ce dégagement de chaleur qui est utilisé pour produire de l'électricité dans les centrales nucléaires.

En Meuse/Haute-Marne, le ^{137}Cs s'est déposé et fixé sur les sols majoritairement à la suite de l'accident de Tchernobyl en 1986. Il peut apparaître dans l'air *via* la remise en suspension de poussières présentes dans les premiers millimètres voire centimètres de la surface du sol ou encore de feux de biomasse (brûlis ou utilisation du bois comme usage domestique).

Il est détecté régulièrement à Houdelaincourt à des niveaux de radioactivité très faibles, en moyenne de 0,14 µBq.m^{-3} (sur la chronique 2011-2021) avec des variations entre 0,01 µBq.m^{-3} et 1,21 µBq.m^{-3}. Les niveaux mesurés sont identiques à ceux observés dans d'autres stations du réseau de surveillance de la radioactivité dans l'air de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (OPERA-air), du quart nord-est de la France (Dijon et Charleville-Mézières par exemple).

Ces valeurs correspondent au niveau d'activité moyenne mesurée dans l'air en France (cf. Figure 2-43) (43).

e) ^{131}I (iode 131)

L'^{131}I est un élément radioactif artificiel (créé lors des réactions de fission dans un réacteur nucléaire ou lors de l'explosion d'une arme nucléaire). C'est l'un des premiers et des principaux éléments radioactifs émis lors des accidents nucléaires. Sa présence dans l'air est généralement ponctuelle car sa période radioactive est courte (huit jours).

L'^{131}I a pu être quantifié à Houdelaincourt à quatre reprises entre novembre 2011 et février 2012 à des niveaux compris entre 0,12 µBq.m^{-3} et 0,22 µBq.m^{-3}. Il a également été décelé à la station de Charleville-Mézières (autre station du réseau OPERA) durant les mêmes périodes. Ces mesures d'^{131}I sont attribuées à un accident sur une installation nucléaire produisant des isotopes à visée pharmaceutique située en Hongrie à cette même période. Aujourd'hui, il n'est plus détectable dans l'aire d'étude éloignée.

f) ^{90}Sr (strontium 90)

Le ^{90}Sr est un élément radioactif artificiel. C'est l'un des éléments radioactifs issus des retombées des essais nucléaires militaires atmosphériques. Étant un produit de fission issu des réacteurs nucléaires, il a également été émis lors des accidents de Tchernobyl et Fukushima. Sa période radioactive est plus longue que celle de l'^{131}I, de l'ordre de la trentaine d'années.

Une fois déposé, le ^{90}Sr migre rapidement de la surface vers des horizons de sols plus profonds. Sa remise en suspension par érosion éolienne est donc bien moins importante que pour le ^{137}Cs. Sa présence dans l'atmosphère est due notamment à la combustion de biomasse (exemple : incendie de forêt ou autre) et à la production d'aérosols biogéniques (exemple : cellules mortes et spores de pollen).

La station d'Houdelaincourt est la seule station du réseau OPERA permettant la caractérisation en routine du bruit de fond atmosphérique en ^{90}Sr.

Les niveaux de radioactivité en ^{90}Sr mesurés dans l'air sont extrêmement faibles, entre 8,9 nBq.m^{-3} et 53 nBq.m^{-3} entre 2012 et 2020, avec une moyenne de 21,1 nBq.m^{-3}. Ces valeurs constituent les valeurs de référence en France (cf. Figure 2-43) (43).

»NANO

Nano (symbole n) est le préfixe du Système international d'unités (SI) qui représente 10^{-9}, soit un milliardième d'unité.

g) Actinides

»ACTINIDES

Les actinides sont une famille de 15 éléments radioactifs du tableau périodique de Mendeleïev. L'uranium, le thorium et le plutonium sont les actinides les plus abondants sur Terre, les deux premiers étant des éléments naturels tandis que le troisième est synthétisé par l'industrie nucléaire. Ce sont des métaux lourds qui tirent leur nom de l'actinium, premier élément de la famille, qui présentent des propriétés chimiques apparentées et possèdent des périodes radioactives longues.

La station d'Houdelaincourt est la seule station du réseau OPERA où les activités volumiques des actinides sont déterminées en routine.

Sur la période 2011-2020, les niveaux de radioactivité en ^{238}U varient de 0,04 µBq.m^{-3} à 0,80 µBq.m^{-3} avec une valeur moyenne de 0,19 µBq.m^{3}. Au cours de la période 2019 – 2020, ils sont en augmentation par rapport aux périodes triennales précédentes. Cette légère augmentation est directement liée à l'augmentation de l'activité massique des aérosols. Les niveaux restent toutefois très faibles et représentatifs d'un environnement non impacté par des rejets d'installations nucléaires utilisant ou rejetant de l'uranium ou d'exploitations minières. Les valeurs du rapport de masse moyen ^{235}U/^{238}U autour de 0,72 % sont caractéristiques de l'uranium naturellement présent dans l'environnement.

Sur la période 2012-2020, le rapport isotopique ^{238}Pu/$^{239+240}$Pu moyen varie de 0,025 à 0,378 nBq.m^{-3} et est en moyenne de 0,087 nBq.m^{-3}. L'essentiel des valeurs observées témoigne pour la plupart des retombées globales des essais nucléaires atmosphériques (valeurs caractéristiques comprises entre 0,03 et 0,05 nBq.m^{-3} (d'après UNSCEAR, 1982 (45)) et sont l'expression de la remise en suspension à partir des sols. .

La station d'Houdelaincourt est la seule station du réseau OPERA permettant la caractérisation du bruit de fond en ^{241}Am. L'activité volumique du ^{241}Am (période radioactive de 432 ans) mesurée à Houdelaincourt entre 2012 et 2020 varie de 0,10 nBq/m^{3} à 1,65 nBq/m^{3} avec une moyenne de 0,51 nBq/m^{3}. Ces valeurs constituent les valeurs de référence en France (cf. Figure 2-43) (43).

2.5.2.4 Dépôts atmosphériques

Les données présentées ci-après sont issues des résultats obtenus sur les différents prélèvements atmosphériques réalisés à la station OPE/OPERA d'Houdelaincourt.

Les dépôts atmosphériques totaux (par temps de pluie et par temps sec) sont prélevés grâce à un pluviomètre de 1 m^{2} de section, en acier inoxydable électro-poli afin de limiter la rétention des gouttes de pluies sur les parois. Les dépôts totaux sont prélevés sur des périodes d'un mois (échantillon mensuel).

Les résultats de mesures effectuées à la station atmosphérique d'Houdelaincourt sont présentés dans le tableau 2-18. Ils sont exprimés en densité de dépôt surfacique (Bq.m^{2}) sur un mois.

Tableau 2-18 Niveaux de radioactivité dans les dépôts atmosphériques recueillis à la station d'Houdelaincourt (2019-2021)

	Niveau de radioactivité (Bq.m^{-2}.mois^{-1})														
	^{7}Be			^{40}K			^{210}Pb			^{22}Na			^{137}Cs		
	2013-2016	2016-2018	2019-2021	2013-2016	2016-2018	2019-2021	2013-2016	2016-2018	2019-2021	2013-2016	2016-2018	2019-2021	2013-2016	2016-2018	2019-2021
Moyenne	34,9	23,5	30,3	0,4	0,3	0,4	4,9	3,7	3,5	0,009	-	0,01	0,002	0,002	0,003
Minimum	2,1	5,2	3,86	0,05	0,1	0,1	0,23	8,4	0,22	0,002	-	0,003	0,0005	0,0006	0,0003
Maximum	145,0	107,4	69,4	1,9	1,5	1,99	23,2	21,8	12,7	0,024	-	0,029	0,008	0,008	0,017

Le niveau de radioactivité en tritium dans les eaux de pluie est de l'ordre de quelques Bq/L selon la surveillance autour du laboratoire souterrain.

2.5.2.5 Dosimétrie gamma

Une campagne de mesure du débit de dose gamma ambiant a été réalisée en 2009 montrant des niveaux moyens variant de 45 nSv/h à 60 nSv/h de jour.

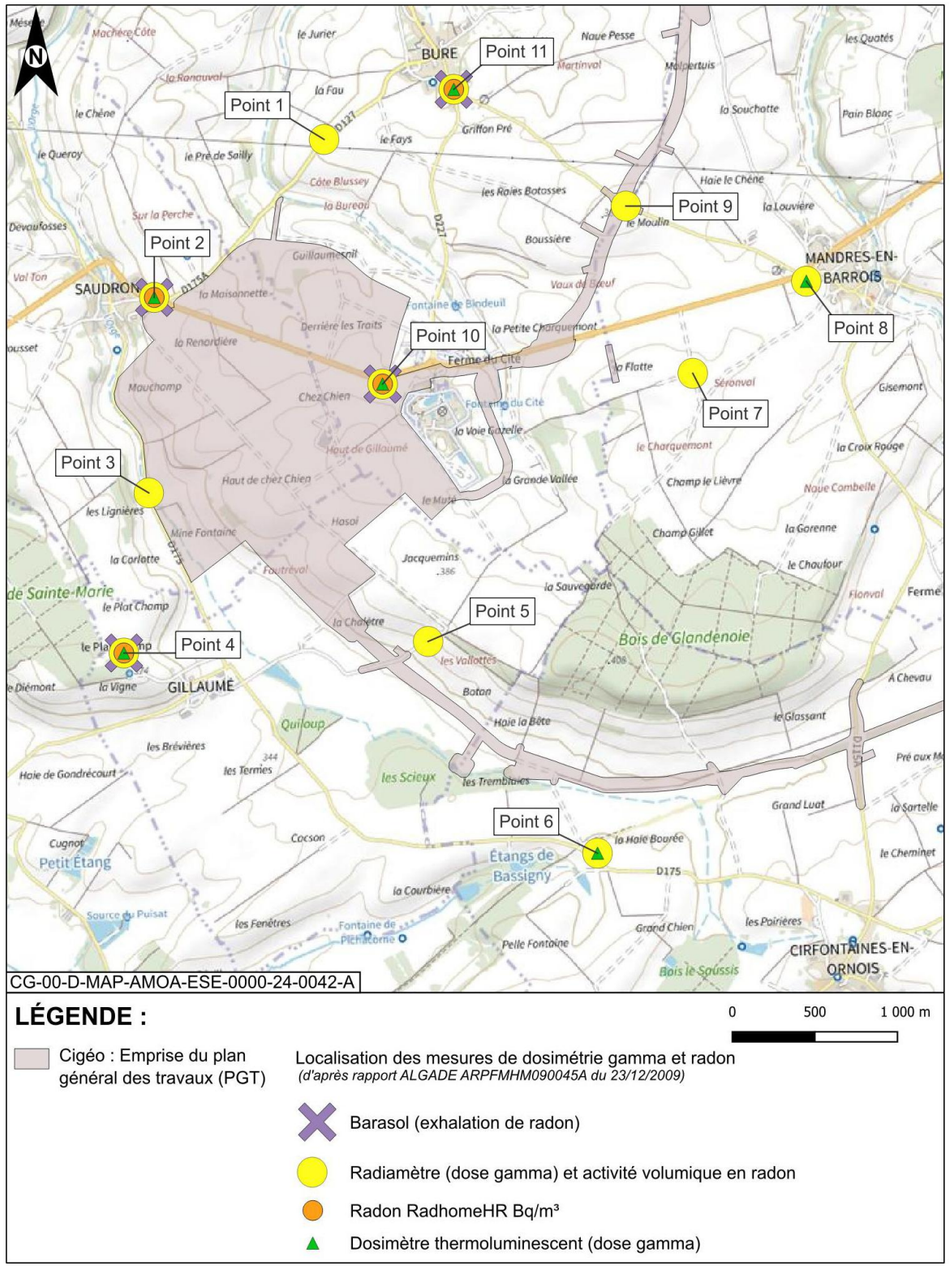


Figure 2-42 *Localisation des mesures ponctuelles de débit de dose gamma et d'exhalation radon*

2.5.2.6 Synthèse

La synthèse des niveaux de radioactivité dans l'air est restituée dans le tableau 2-19 suivant.

Tableau 2-19 Synthèse des niveaux radioactivité mesurés dans l'air à la station atmosphérique d'Houdelaincourt

Origine	Éléments radioactifs	Chronique	Valeurs mesurées			Unité
			Moyenne	Minimale	Maximale	
Naturelle	^{40}K	2011-2021	5,4	0,7	22,6	µBq.m^{-3}
	^{22}Na	2011-2021	0,36	0,03	1,15	µBq.m^{-3}
	^{210}Pb	2011-2021	434,1	56	1 940	µBq.m^{-3}
	^{7}Be	2011-2021	3,54	0,27	8,9	mBq.m^{-3}
	^{3}H	2019-2021	<10	5,2	17,8	mBq.m^{-3}
	^{14}C	2016-2018	75	47	105	mBq.m^{-3}
		2019-2021	53			mBq.m^{-3}
	^{85}Kr	12/2010 à 03/2012	2	-	5	Bq.m^{-3}
	^{222}Rn	2009	23 (jour) – 38 (nuit)	-	-	Bq.m^{-3}
	^{238}U	2011-2020	0,19	0,04	0,80	µBq.m^{-3}
	$^{235}U/^{238}U$	2011-2020	0,72 % (rapport massique)	-	-	sans unité
Artificielle	^{90}Sr	2012-2020	21,1	8,9	53	nBq.m^{-3}
	^{137}Cs	2011-2021	0,14	0,01	1,21	µBq.m^{-3}
	^{241}Am	2012-2020	0,51	0,10	1,65	nBq.m^{-3}

La figure 2-43 présente les niveaux de radioactivité moyens de quelques éléments radioactifs artificiels et naturels mesurés en France par l'IRSN dans le cadre du bilan de l'état radiologique de l'environnement français. Pour chaque élément radioactif sont fournis le nombre de résultats exploités et le nombre d'analyses disponibles (chiffres entre parenthèse sur la figure).

Les niveaux mesurés à la station d'Houdelaincourt, également représentés sur la figure 2-43, sont globalement du même ordre de grandeur que les niveaux moyens mesurés dans l'air en France.

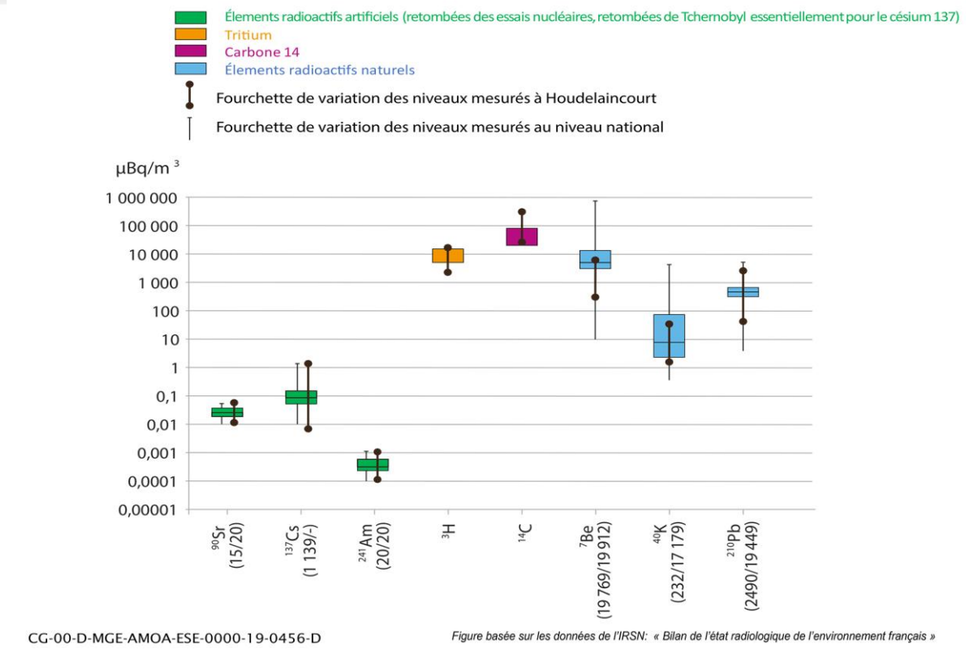


Figure 2-43 Niveaux de radioactivité moyens mesurés dans l'air en France (43) et à la station d'Houdelaincourt

2.5.3 Synthèse de l'état initial de la qualité de l'air

- **Paramètres conventionnels**

  La qualité de l'air peut être modifiée par des polluants d'origine naturelle ou d'origine anthropique, c'est-à-dire liés à l'activité humaine. La pollution de l'air a des effets significatifs sur la santé et l'environnement.

  Les polluants étudiés sont ceux règlementés au titre de la surveillance de la qualité de l'air à l'article R. 221-1 du code de l'environnement. Il s'agit :

  - ✓ du dioxyde d'azote NO_2 ;
  - ✓ du dioxyde de soufre SO_2 ;
  - ✓ de l'ozone (O_3) ;
  - ✓ du monoxyde de carbone (CO) ;
  - ✓ des particules en suspension de diamètre inférieur à 10 µm et à 2,5 µm (respectivement, PM_{10} et $PM_{2,5}$) ;
  - ✓ des composés organiques volatiles (COV) assimilés au benzène, seul COV disposant de valeur seuil ;
  - ✓ des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), représentés par le benzo(a)pyrène (B(A)P) lui-même réglementé ;
  - ✓ des métaux lourds (arsenic, cadmium, nickel et plomb).

  L'aire d'étude dans laquelle s'implante le projet global Cigéo est rurale ; le trafic y est faible, tout comme le nombre d'industries émettrices de polluants. La synthèse des activités émettrices de polluants révèle que le secteur « résidentiel, tertiaire, commercial et institutionnel » et le secteur agricole sont à l'origine des émissions de la plupart des polluants.

  Par conséquent, les concentrations en polluants (dioxyde de soufre SO_2, oxyde d'azote NO_x, monoxyde de carbone CO, benzène, benzo(a)pyrène, particules PM_{10} et $PM_{2,5}$ et éléments traces métalliques) mesurées à la station atmosphérique d'Houdelaincourt respectent à la fois les valeurs limites et quasiment tous les objectifs de qualité indiqués dans la règlementation, à l'exception de l'ozone (dépassements observés au niveau régional et national) et des particules $PM_{2,5}$ (uniquement lors de conditions météorologiques particulièrement défavorables).

- **Paramètres radiologiques**

  Le suivi du fond radiologique atmosphérique réalisé par l'Andra (réalisé depuis 2011 à la station d'Houdelaincourt) montre un niveau de radioactivité ambiant correspondant à une zone éloignée des activités nucléaires actuelles. En outre, les niveaux mesurés sont globalement du même ordre de grandeur que les niveaux moyens mesurés dans l'air en France (43).

- **Enjeux**

  La qualité de l'air sur l'aire d'étude dans laquelle s'implante le projet global Cigéo est bonne en raison de son caractère rural peu urbanisé et peu industrialisé.

  L'état initial montre un niveau de radioactivité ambiant de l'air correspondant à une zone éloignée de toute activité nucléaire.

Enjeu fort

3

Sol – État initial

3.1	Définitions et aires d'étude	52
3.2	Relief, géomorphologie et topographie	52
3.3	Occupation et caractéristiques des sols	59
3.4	Sites et sols pollués ou potentiellement pollués	69
3.5	Synthèse concernant les sols	74

3.1 Définitions et aires d'étude

Le facteur sol est étudié grâce aux aires d'étude suivantes qui sont détaillées dans le chapitre 1.2 du volume VII de la présente étude d'impact :

- l'aire d'étude immédiate commune à tous les facteurs (excepté la biodiversité et l'agriculture) qui correspond à la zone susceptible d'être affectée par les effets d'emprise ;
- l'aire d'étude rapprochée du milieu physique qui intègre toutes les zones susceptibles d'être concernées par les effets directs et indirects de modification des sols, notamment la topographie en interrelation avec les écoulements des eaux superficielles et souterraines ;
- l'aire d'étude éloignée du milieu physique qui permet de décrire la géomorphologie, la pédologie et l'occupation du sol.

Une aire d'étude spécifique décrite dans le volume VII de la présente étude d'impact est utilisée pour décrire l'état initial le long de la portion de ligne 400 kV à sécuriser.

DÉFINITIONS (source : *Encyclopædia Universalis*)

Albert Demolon Ingénieur agronome (1881-1954) définit un **sol** comme la formation naturelle de surface, à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche sous-jacente sous l'influence de divers processus, physiques, chimiques et biologiques, au contact de l'atmosphère et des êtres vivants.

La **pédologie** (du grec « pedon », le sol) est la science des sols. C'est l'étude de l'organisation (structures et fonctionnement) des sols, de leurs propriétés, de leur distribution dans l'espace et de leur évolution dans le temps. Les conceptions les plus modernes partent du constat que les véritables objets d'étude de la pédologie sont les couvertures pédologiques, formations naturelles, continues, tridimensionnelles, dont l'organisation et les propriétés sont en perpétuelle évolution, en lien avec les autres facteurs du milieu et en particulier avec les interventions de l'Homme.

Étymologiquement, la **topographie** (du grec « topos », « lieu ») consiste à représenter graphiquement un lieu sur le papier ; l'opération correspondante est le levé topographique et le support en est la minute de levé. La **géomorphologie** (« géo », la terre, « morpho », la forme, et « logie » formé du grec logos, que l'on peut traduire ici par loi ou science) est une discipline scientifique dont l'objet est de nommer et de mesurer les formes du relief, mais aussi d'expliquer leur genèse et de prévoir leur évolution.

3.2 Relief, géomorphologie et topographie

3.2.1 Relief dans l'aire d'étude éloignée

3.2.1.1 Un relief typique de la bordure du Bassin parisien

Située dans la partie orientale du Bassin parisien, l'aire d'étude éloignée est, à l'image de la Lorraine et de la Meuse, un pays de plaines, de plateaux et de côtes. Ce relief s'est modelé en exploitant les différences lithologiques entre les formations argileuses et calcaires qui affleurent avec un faible pendage dans cette région (cf. Figure 3-1 et figure 3-2).

Le système d'information pour la gestion des eaux souterraines en Seine-Normandie (SIGES (47)) explique dans le contexte géologique du Bassin parisien que « *ce bassin forme une vaste dépression occupée dans le passé par des mers peu profondes et des lacs. Au fil du temps, des sables et des argiles, issus de l'érosion des reliefs alentours, ainsi que des calcaires d'origine biologique, se sont accumulés en couches successives pour combler ce bassin au fur et à mesure qu'il s'enfonçait. Les sédiments empilés forment une succession de couches géologiques. La structure géologique du bassin sédimentaire peut être comparée à un empilement « d'assiettes creuses », les couches les plus récentes correspondent à la zone centrale (ère Tertiaire), les plus anciennes aux assises extérieures (ère Secondaire).* » L'aire d'étude éloignée se trouve sur les bords de cet « empilement d'assiettes » qui forment la succession de lignes de côte.

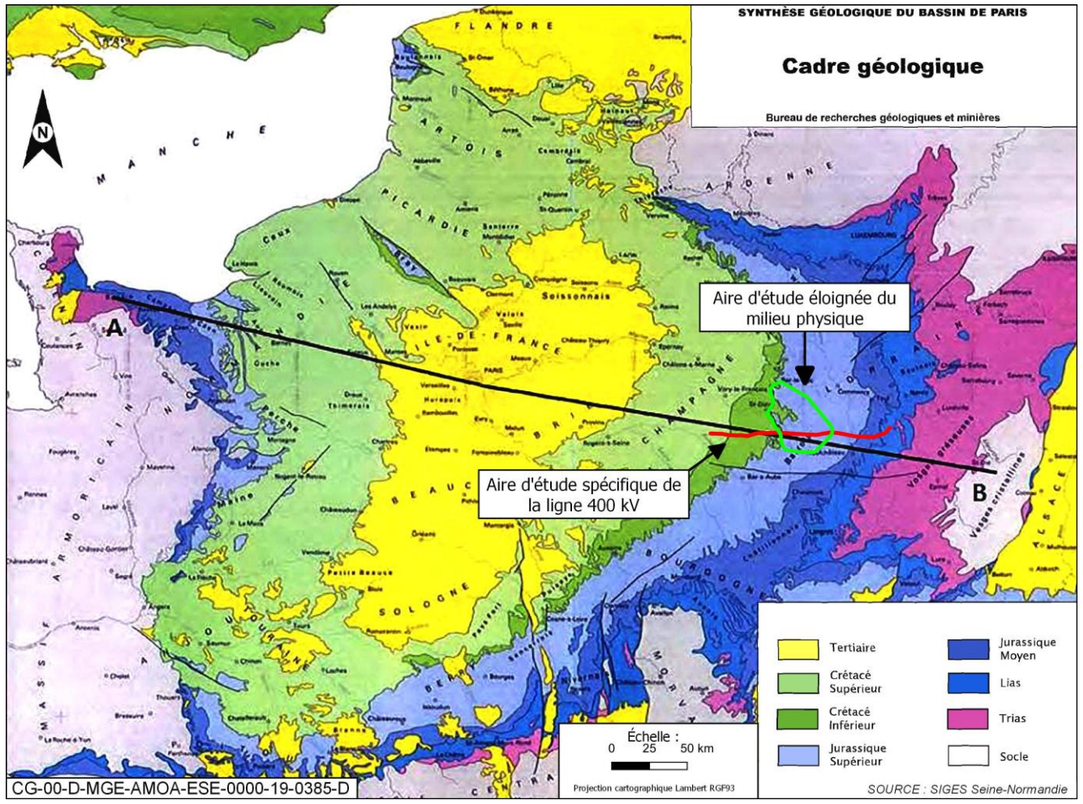


Figure 3-1 Carte géologique simplifiée du Bassin parisien (Mégnien et al., 1980 (48-50))

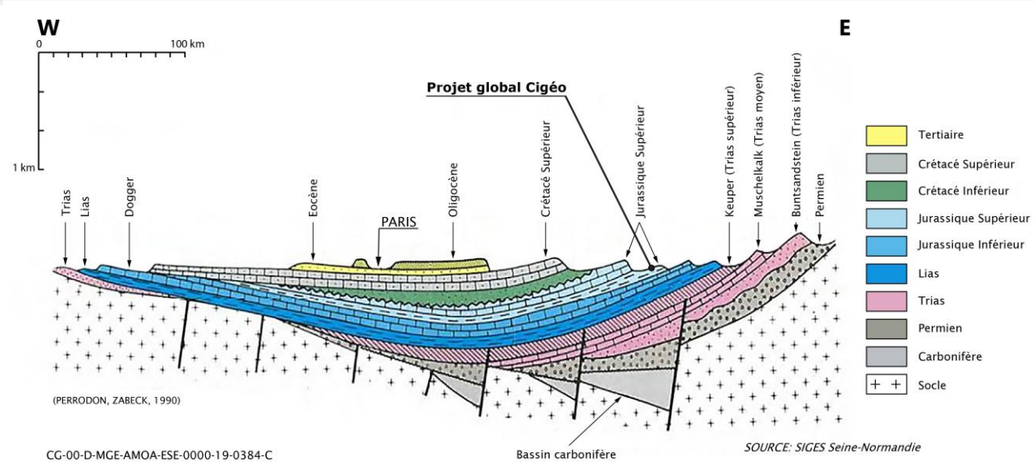


Figure 3-2 *Coupe géologique simplifiée (AB) orientée ONO/ESE du Bassin parisien (Perrodon., 1990 (51))*

3.2.1.2 Un relief structuré par les lignes de côte et les cours d'eau

En bordure du Bassin parisien, se succèdent des lignes de côtes, appelées cuesta, plus ou moins marquées selon les formations géologiques. Le relief de côte ou de cuesta est caractéristique des régions périphériques des bassins sédimentaires. Comme le montre la figure 3-3, il désigne une forme de relief dissymétrique composée d'un plateau en pente douce (le revers) qui se termine par un escarpement plus ou moins important (le front de côte). En contrebas du front se développe une dépression où s'écoule un cours d'eau parallèlement au front de côte. Ce relief est dû à l'action différenciée de l'érosion fluviale sur une succession de couches sédimentaires parallèles et inclinées qui n'ont pas la même dureté. Des buttes témoins, fragments d'un banc rocheux résistant isolé par l'érosion, persistent dans la dépression.

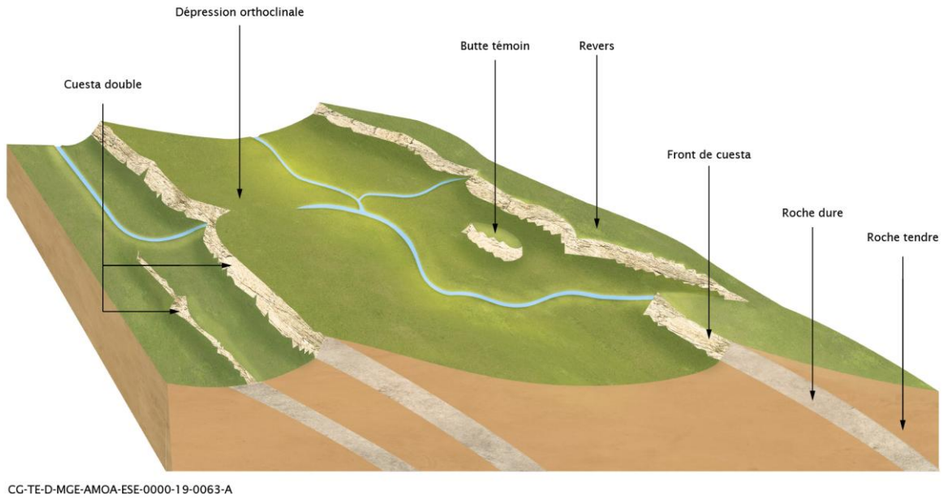


Figure 3-3 *Relief de côte ou de cuesta*

Ainsi, se succèdent d'ouest en est, comme le montre la figure 3-4, la côte de Champagne, la côte des Bars, la côte de Meuse, la côte de Moselle.

Dans l'aire d'étude éloignée, le front de la côte des Bars culmine, d'une façon générale, vers 400 mètres d'altitude, en soulignant l'affleurement des calcaires du Barrois. Il surplombe les dépressions où affleurent des formations argileuses du Kimméridgien (cf. Chapitre 4 du présent volume relatif à la géologie). Les communes de Bure et Mandres-en-Barois sont installées sur le revers de la cuesta de la côte des Bars. La commune de Gillaumé est installée dans la dépression en pied de cuesta.

Les vallées sont formées par :

- un assemblage de tronçons de vallées de directions générales sud-nord et sud-est/nord-ouest incisant les plateaux ;
- des vallées affluentes nord-nord-est/sud-sud-est qui drainent les dépressions structurales et les pieds de cuesta.

La vallée de l'Ornain est large et peu marquée dans les argiles entre les communes de Gondrecourt-le-Château et Demange-Baudignécourt. En aval et en amont de Gondrecourt-le-Château, elle est étroite, encaissée et méandriforme dans les calcaires.

La vallée de la Marne est plus large et davantage encaissée. Elle est constituée d'un fond large et cadré par des coteaux boisés.

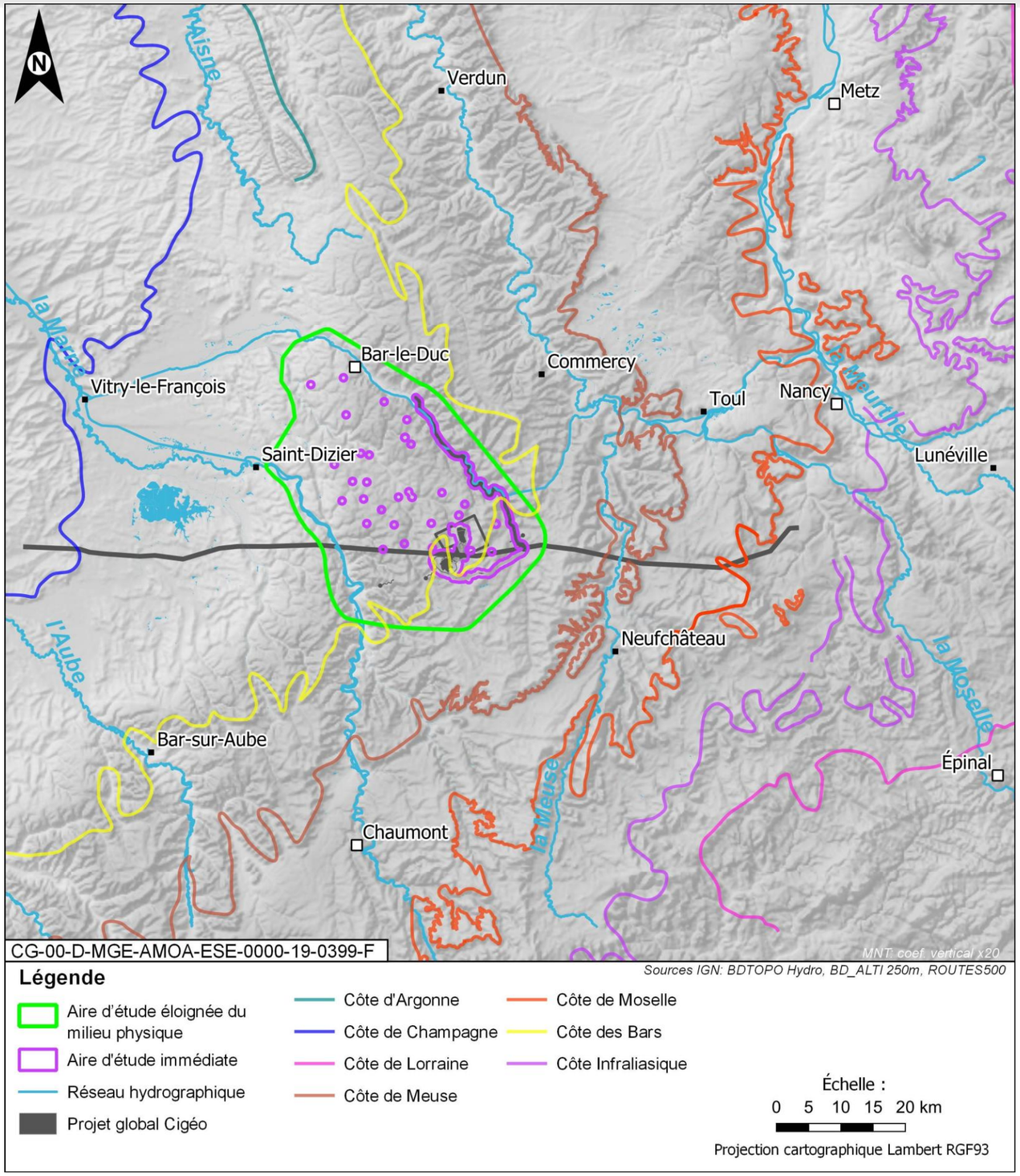


Figure 3-4 Succession des lignes de côtes de la bordure est du Bassin parisien

3.2.1.3 Le relief au droit de la ligne électrique 400 kV

L'aire d'étude, qui s'étend sur 124 kilomètres depuis la région du Saintois à l'est jusqu'à l'extrémité orientale de la Champagne Crayeuse à l'ouest, recouvre plusieurs unités morphologiques distinctes :

- la région du Saintois, au sein de laquelle se trouve le poste d'Houdreville. Elle correspond à une vaste plaine argileuse, légèrement vallonnée avec des formes douces. Elle est limitée à l'ouest par les reliefs des calcaires de Moselle et leurs buttes-témoins. Les altitudes rencontrées par la ligne s'établissent entre 275 m et 300 m en plaine et à plus de 425 mètres au niveau des Côtes ;
- l'extrémité sud du Plateau de Haye, correspondant au plateau de revers de Moselle, où les altitudes déclinent de 400 mètres à 300 mètres ;
- les Côtes de Meuse, avec là aussi quelques buttes-témoins délimitant le plateau de Haye, et offrant vers l'ouest un plateau de revers en pente douce vers le val de Meuse. Les altitudes y sont de l'ordre de 420 mètres sur les reliefs et déclinent ensuite jusqu'à 260 mètres ;
- la vallée de la Meuse, relativement large, s'établit à une altitude moyenne de 260 mètres. Plus à l'ouest s'offre un pays de collines au relief généralement doux faisant la transition avec le Barrois (altitudes entre 350 m et 400 m) ;
- le Barrois, plateau calcaire, parcouru par la vallée de l'Ornain (Gondrecourt-le-Château) et plus à l'ouest par celle de la Saulx (Effincourt, Paroy-sur-Saulx) ; les altitudes au droit de la ligne oscillent entre 285 mètres en vallée de la Saulx et 390 mètres sur le plateau ;
- plus à l'ouest, ce plateau correspond au Barrois Champenois, parcouru par la vallée de la Marne, le contact se faisant par un versant marqué, puis par celle de la Blaise (Attancourt, Wassy) avec des versants en pente douce. Les altitudes au droit de la ligne oscillent entre 170 mètres en vallée de la Marne, 160 mètres en vallée de la Blaise et 280 mètres sur le plateau ;
- le Pays du Der, région caractérisée par son caractère humide et ses nombreux étangs (Champagne Humide), avant de retrouver à l'extrémité du projet une zone de plateau plus sèche et faiblement marquée sur le plan topographique (passage à la Champagne Crayeuse). Les altitudes rencontrées par la ligne s'établissent autour de 120-130 mètres.

La ligne existante, faisant l'objet des travaux de sécurisation dans le cadre du projet, traverse ces entités avec des franchissements de fronts de côtes et de vallées perpendiculaires à leur orientation (cf. Figure 3-5).

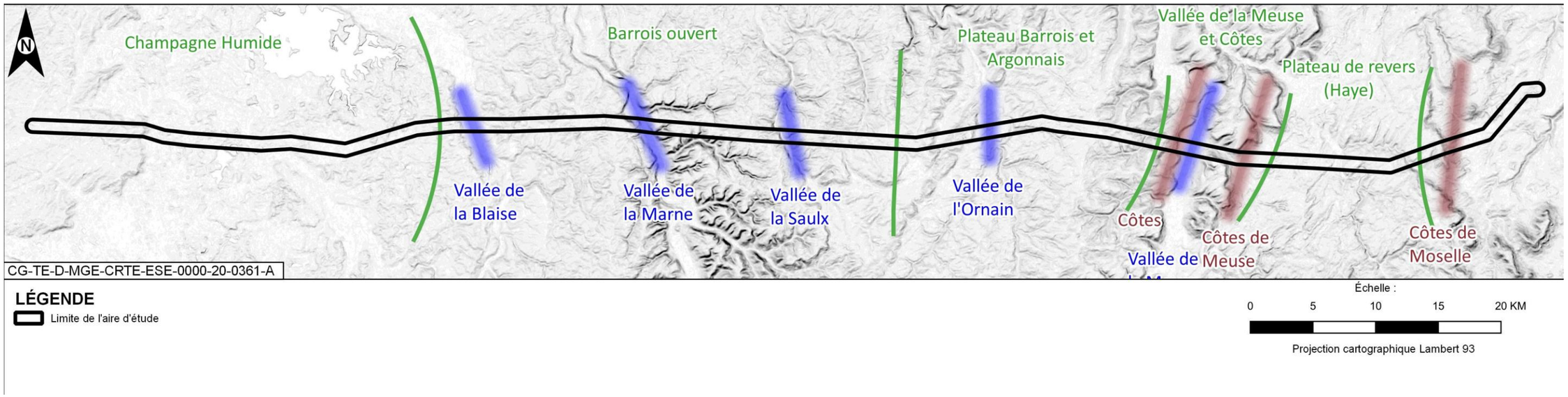


Figure 3-5 Reliefs traversés par la ligne électrique 400 kV

3.2.2 Relief de l'aire d'étude rapprochée

Les figure 3-6 (partie sud) et figure 3-7 (partie nord) présentent la topographie de l'aire d'étude rapprochée.

Le point culminant de l'aire d'étude rapprochée atteint 428 mètres d'altitude et se trouve au sud sur la commune de Germay. Sur le reste de l'aire d'étude, l'altitude varie entre 215 m et 420 m et le relief est vallonné.

L'Ornain, qui coule à l'est de l'aire d'étude rapprochée, la Saulx à l'ouest et la Marne et ses affluents au sud constituent les principaux cours d'eau de l'aire d'étude rapprochée (et aussi de l'aire d'étude éloignée).

Une ligne de crête orientée sud-est/nord-ouest partant de Germay en direction d'Effincourt joue le rôle de ligne de partage des eaux au sud de l'aire d'étude rapprochée.

Au sud de cette ligne, plusieurs vallées marquées s'organisent autour de la vallée du Rongeant qui conflue avec la Marne à Joinville.

Au nord de cette ligne, dans la zone centrale de l'aire d'étude rapprochée, les vallées et lignes de crête sont toutes orientées nord-sud. Les vallées de l'Ornain et de la Saulx sont plus vastes, celles de l'Ormançon et l'Orge sont des vallées plus encaissées. Des vallées secondaires rejoignent l'Ornain et la Saulx. Elles sont globalement perpendiculaires aux vallées structurantes qui sont l'Ornain et la Saulx.

Sur le plateau de Bure, le chevelu des rivières naissantes crée un moutonnement du relief. Les cours d'eau principaux incisent les calcaires avec des vallées étroites et encaissées.

Le bois de Glandenoie (commune de Cirfontaines-en-Ornois) marque le sommet du front de cuesta en bas duquel coule l'Orge. L'Orge en tournant vers le nord vient inciser ce front de cuesta qu'il soulignait à sa source. Ce cours d'eau s'écoule de 340 mètres à sa source à Cirfontaines-en-Ornois, à 330 mètres à Saudron puis à 297 mètres à Ribeaucourt.

La vallée de la Bureau, qui prend sa source sur le plateau de Bure à côté du CMHM à 357 mètres d'altitude, s'écoule vers le nord-ouest à 327 mètres NGF sous la route départementale D175A, route entre Saudron et Bure. Elle rejoint l'Orge au nord-ouest de Bure à 310 mètres d'altitude.

L'Ormançon prend aussi sa source sur le plateau de Bure au sud-est de Mandres-en-Barois à 360 mètres NGF et s'écoule vers le nord en s'encaissant progressivement à 350 mètres NGF à Mandres-en-Barois, 335 mètres NGF en contrebas du bois Lejuc et il rejoint l'Ornain à La Neuville à une altitude d'environ 258 mètres NGF.

L'Ornain quant à lui, naît de la confluence de l'Ognon et de la Maldite à Gondrecourt-le-Château à environ 336 mètres d'altitude. La vallée de l'Ornain est large et peu marquée dans les argiles entre Gondrecourt-le-Château et Demange-Baudignécourt. En aval et en amont de Gondrecourt-Le-Château, elle est étroite, encaissée et méandriforme dans les calcaires. À Tronville-en-Barrois, en limite nord de l'aire d'étude rapprochée, il coule à environ 215 mètres d'altitude.

La Saulx prend sa source à Germay à 347 mètres d'altitude, s'écoule en direction du nord-ouest jusqu'à Paroy-sur-Saulx puis s'oriente vers le nord jusqu'à Montiers-sur-Saulx. Sa vallée, étroite jusqu'à Pansey, s'élargit progressivement ensuite.

3.2.3 Relief de l'aire d'étude immédiate

Le centre de stockage Cigéo est installé sur le front et le revers de la côte des Bars. À Bure, ce plateau ondulé où s'installent les zones puits et descenderie, varie entre 300 m et 400 m d'altitude. Les ondulations se renforcent en allant vers le nord. Plusieurs buttes culminent à 391 mètres comme celle du Chaufour ou dans le bois Lejuc, puis le terrain redescend à l'est vers la vallée de l'Ormançon.

La future ITE s'inscrit préférentiellement sur les replats et dans les fonds de vallée. À la sortie de la future zone descenderie, le tracé descend le versant nord de la vallée de l'Orge passant ainsi de 370 mètres d'altitude dans la future zone descenderie à 350 mètres à Cirfontaines-en-Ornois où il retrouve la plateforme de l'ancienne voie ferrée dont les rails ont été démontés depuis plusieurs décennies. Comme beaucoup de voies ferrées construites au début du XX^{e} siècle, elle a été installée principalement en suivant les fonds de vallée pour bénéficier de leur pente douce. De Cirfontaines-en-Ornois à Luméville-en-Ornois, le tracé traverse un replat agricole créé par un ancien cours d'eau maintenant perdu dans le sous-sol karstique. Il remonte jusqu'à 360 mètres avant de rejoindre le bord du ruisseau de l'étang et de redescendre en pente douce vers le pied de la butte de la Trémont. Cette ancienne voie ferrée chemine alors sur un large replat agricole, d'altitude moyenne 330 mètres, dominé par la côte des Bars entre la Trémont et Ruère au nord-ouest et incisé par l'Ognon au sud-est. Au sud de Gondrecourt-le-Château, l'ancienne plateforme rejoint la vallée de l'Ornain qui s'écoule vers le nord-ouest en méandres encaissés. À partir de ce point, les rails sont encore présents, ils remontent doucement vers la plateforme logistique de Gondrecourt-le-Château installée à 305 mètres d'altitude en haut de la pente douce qui descend vers l'intérieur du méandre.

La ligne très haute tension traverse les lignes de côte d'est en ouest de manière rectiligne.

L'adduction d'eau est réalisée à partir des sources présentes sur les communes suivantes :

- Thonnance-lès-Joinville dans la vallée du Mont, affluent direct de la Marne à environ 200 mètres ;
- Échenay dans la vallée de la Saulx à environ 300 mètres ;
- Gondrecourt-le-Château dans la vallée de l'Ornain à environ 290 mètres.

À partir de Gondrecourt-le-Château, la voie ferrée est gérée par SNCF réseau. C'est la ligne ferroviaire 027000 qui longe la vallée de l'Ornain sur une majeure partie de son tracé comme la route départementale D966 et le canal de la Marne au Rhin. Le fond de l'Ornain s'établit de 330 mètres à Gondrecourt-le-Château à 215 mètres à Nançois-sur-Ornain. La pente la plus forte de la voie ferrée sur ce tronçon est de l'ordre de 2 %.

La déviation de la route départementale D60/960 autour de la future zone descenderie longe l'amont de la vallée de la Bureau afin de rejoindre Saudron pour les options nord et de proximité. L'option sud nécessite de descendre le raide versant nord de la vallée de l'Orge pour suivre ce cours d'eau entre Gillaumé et Saudron.

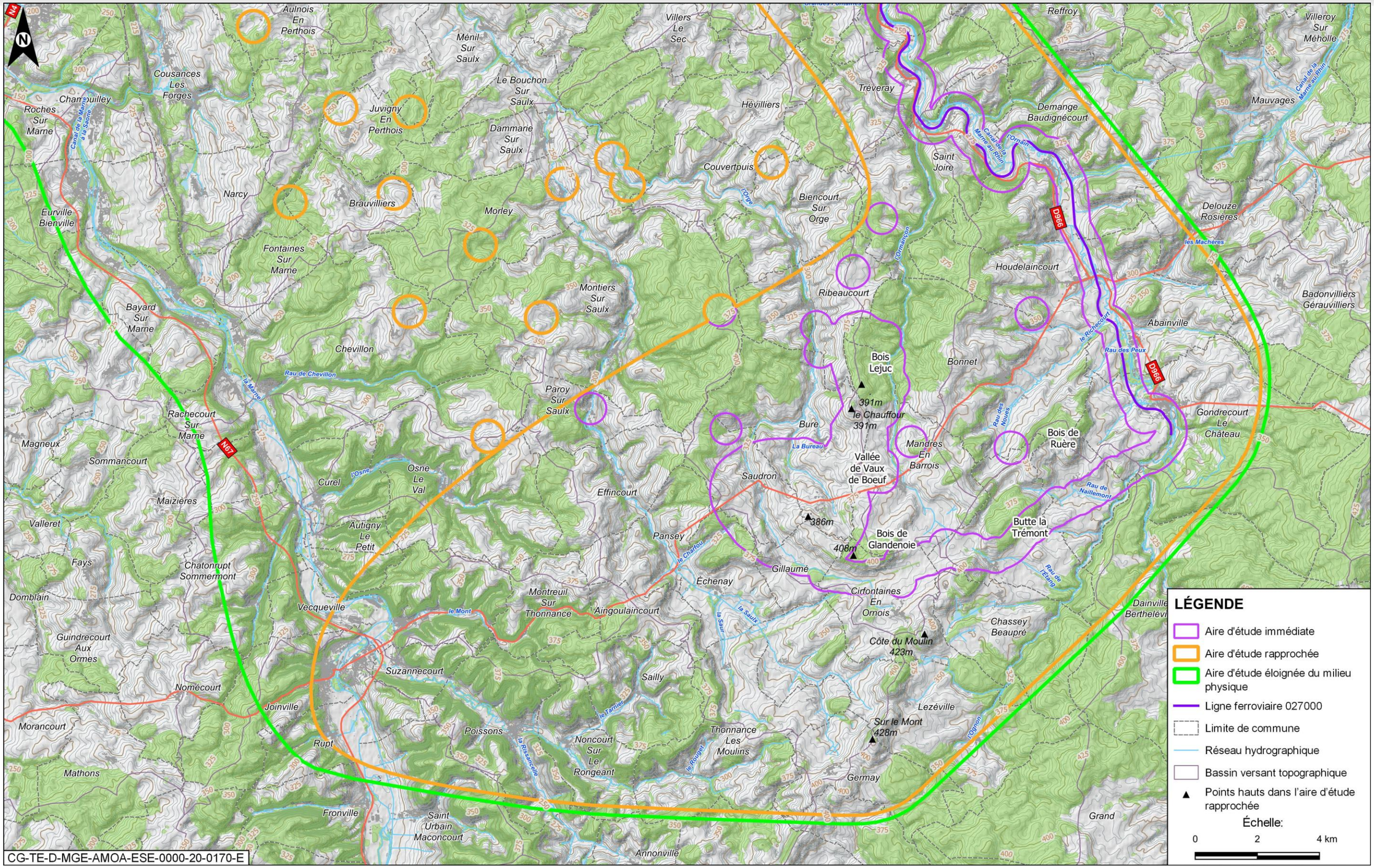


Figure 3-6 Carte topographique - Partie sud

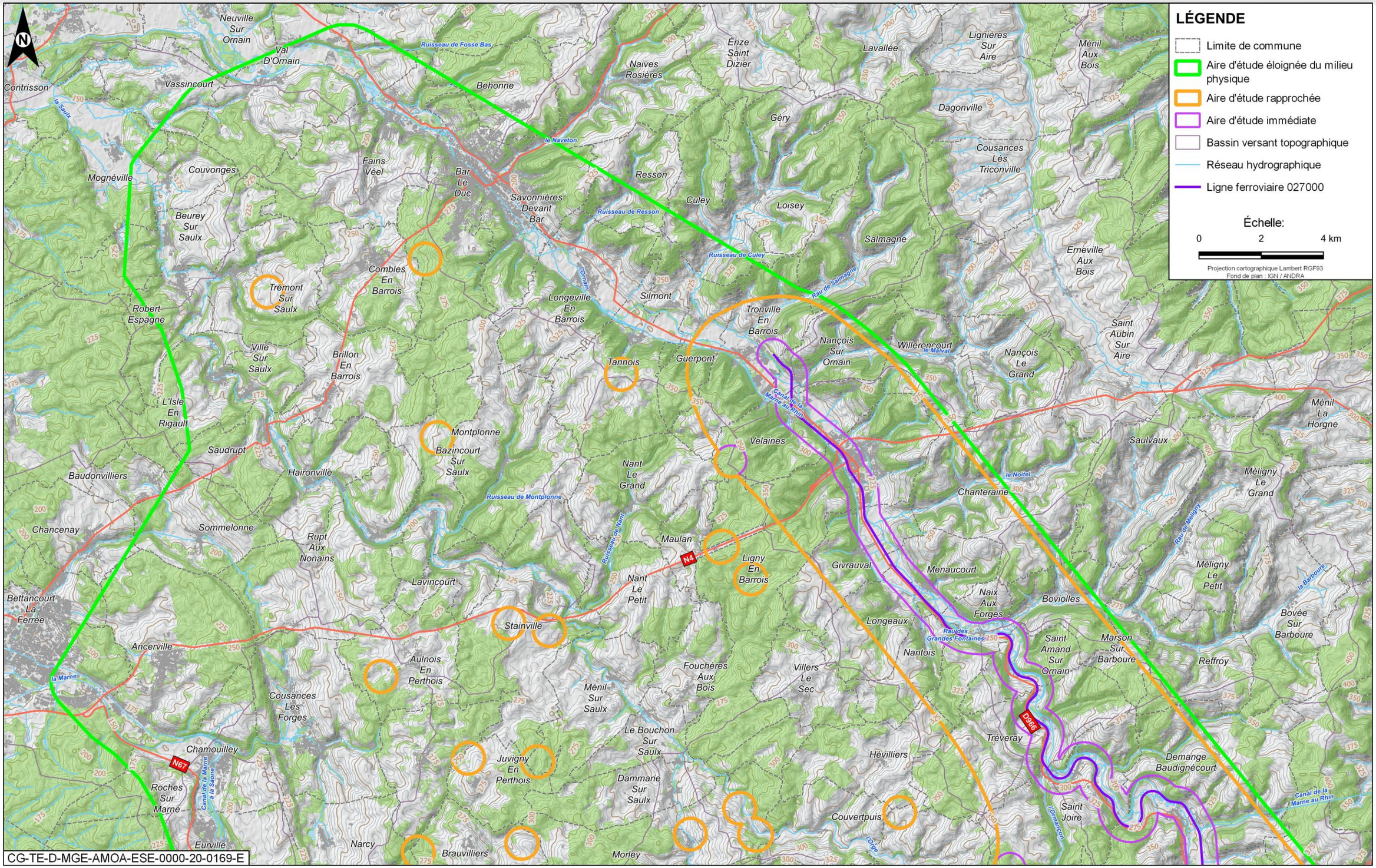


Figure 3-7 Carte topographique - Partie nord

3.3 Occupation et caractéristiques des sols

3.3.1 Occupation des sols

L'occupation des sols dans l'aire d'étude éloignée (cf. Figure 3-8) est étudiée grâce à la base de données d'occupation des sols Corine Land Cover (CLC) 2018 qui est décomposée en 15 postes (types d'occupation du sol différents) (52) L'occupation des sols est le facteur déterminant majeur de la fourniture de tous les services écosystémiques : services d'approvisionnement (biens), services de régulation et services socio-culturels.

L'occupation du sol est largement dominée par les cultures qui représentent 45,8 % (surfaces correspondant aux catégories CLC terres arables et zones agricoles hétérogènes) puis les forêts (cumul des surfaces des forêts et milieux à végétation arbustive et/ou herbacée de CLC) qui atteignent 38,6 %.

Les forêts sont préférentiellement situées sur les crêtes, les hauts de buttes et les versants pentus. Quelques prairies sont présentes sur les coteaux à forte pente et dans les fonds de vallées (11,76 % des surfaces).

Les zones artificialisées sont très marginales en termes d'occupation du sol : elles occupent 3,8 %.

ARTIFICIALISATION DES SOLS

Selon l'article L. 101-2-1 du code de l'urbanisme, l'artificialisation est définie comme « *l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage* ».

L'annexe au R. 101-1 du code de l'urbanisme définit 5 catégories de surfaces artificialisées :

1° Surfaces dont les sols sont imperméabilisés en raison du bâti (constructions, aménagements, ouvrages ou installations) ;

2° Surfaces dont les sols sont imperméabilisés en raison d'un revêtement (artificiel, asphalté, bétonné, couvert de pavés ou de dalles) ;

3° Surfaces partiellement ou totalement perméables dont les sols sont stabilisés et compactés ou recouverts de matériaux minéraux ;

4° Surfaces partiellement ou totalement perméables dont les sols sont constitués de matériaux composites (couverture hétérogène et artificielle avec un mélange de matériaux non minéraux) ;

5° Surfaces à usage résidentiel, de production secondaire ou tertiaire, ou d'infrastructures notamment de transport ou de logistique, dont les sols sont couverts par une végétation herbacée, y compris si ces surfaces sont en chantier ou sont en état d'abandon.

L'outil utilisé pour connaître les surfaces artificialisées d'un territoire est l'inventaire Corine Land Cover (CLC). Dans cet inventaire, les surfaces artificialisées sont prises en compte au sein des catégories de territoires suivantes (représentées sur la carte figure 3-8) :

- zones urbanisées (en rouge) ;
- zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication (en violet) ;
- mines, décharges et chantiers (en violet) ;
- espaces verts artificialisés, non agricoles (en vert foncé).

Selon le gouvernement en 2016 (53), la part de sols artificialisés est un indicateur qui participe à la politique de préservation de la biodiversité. Elle est en 2016 de 9,3 % du territoire de France métropolitaine.

Les zones urbanisées les plus importantes sont regroupées en quatre secteurs dans l'aire d'étude éloignée : dans le secteur de Joinville (Thonnance-lès-Joinville et Suzannecourt) au sud-ouest, dans le secteur de Saint-Dizier (Ancerville) au nord-ouest, dans le secteur de Ligny-en-Barrois (Velaines et Tronville-en-Barrois) au nord-est et dans le secteur de Bar-le-Duc au nord-est.

Les zones urbaines sont essentiellement organisées le long des cours d'eau :

- le long de la Marne à partir de Joinville en direction de Saint-Dizier ;
- le long de l'Ornain à partir de Gondrecourt-le-Château vers Ligny-en-Barrois puis au-delà de l'aire d'étude éloignée, vers Bar-le-Duc.

Entre ces deux pôles, les zones urbaines de taille beaucoup plus modeste émaillent ce territoire rural. Il y a six villages autour du futur centre de stockage Cigéo : Bure, Saudron, Gillaumé, Mandres-en-Barois, Gondrecourt-le-Château (village de l'ancienne commune de Luméville-en-Ornois) et Horville-en-Ornois.

La vallée de l'Ornain, où est installée la ligne ferroviaire 027000, compte une quinzaine de villages. Gondrecourt-le-Château et Ligny-en-Barrois constituent les centres urbains les plus étendus.

Bien que l'occupation du sol soit dominée par l'agriculture, quelques industries sont installées sur le plateau Barrois, notamment le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne sur la commune de Bure ou la carrière de Gondrecourt-le-Château.

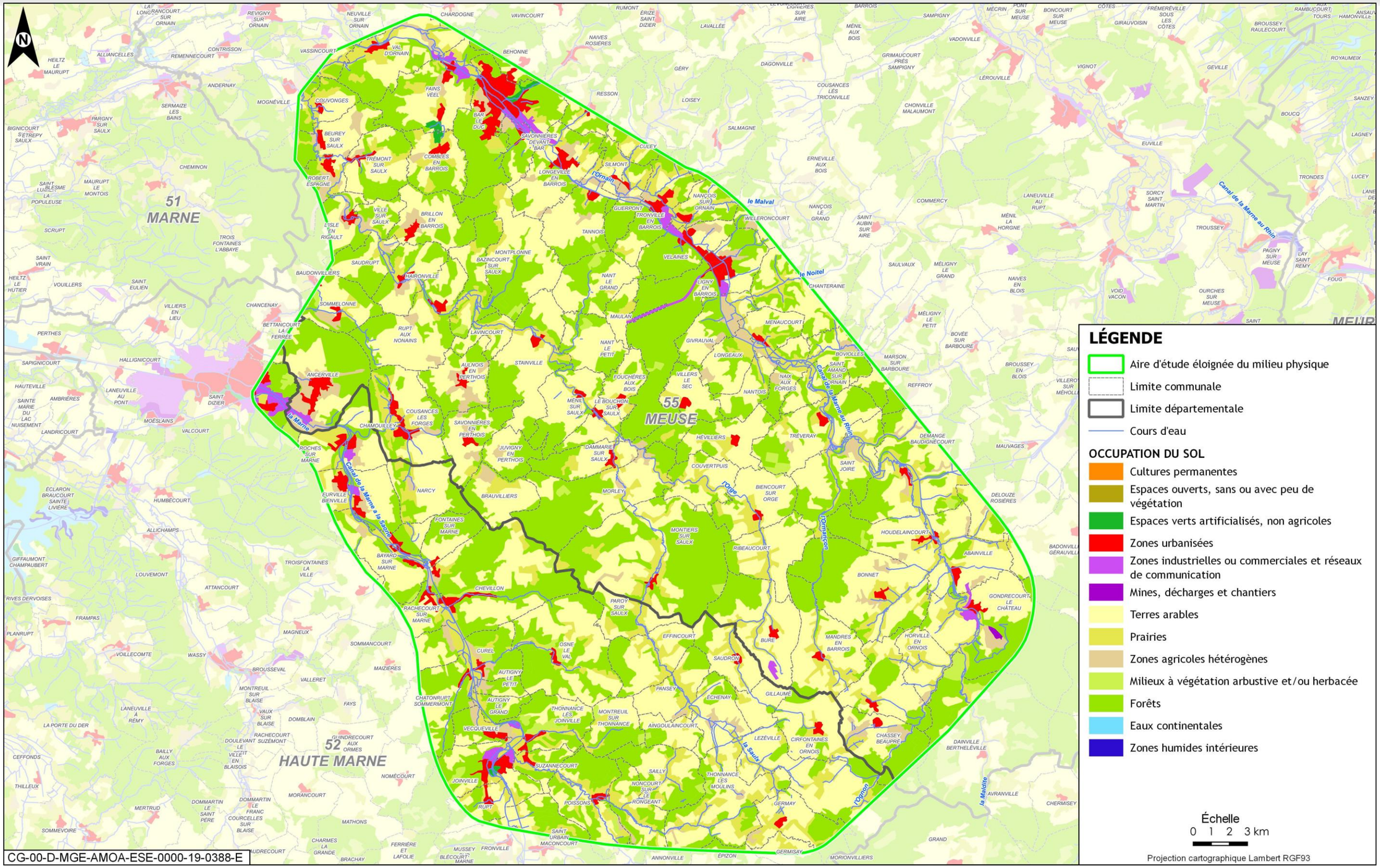


Figure 3-8 Occupation du sol (Corine land cover, 2018 (52)

3.3.2 Caractérisations pédologiques des sols

3.3.2.1 Formation des sols

Les sols se forment par l'altération de la roche sous-jacente, l'incorporation de matières organiques, et la redistribution, la migration et l'accumulation de matières au sein du volume de sol (cf. Figure 3-9). Ainsi, un sol est composé d'une succession de couches, appelées **horizons**, de composition et de structure différentes.

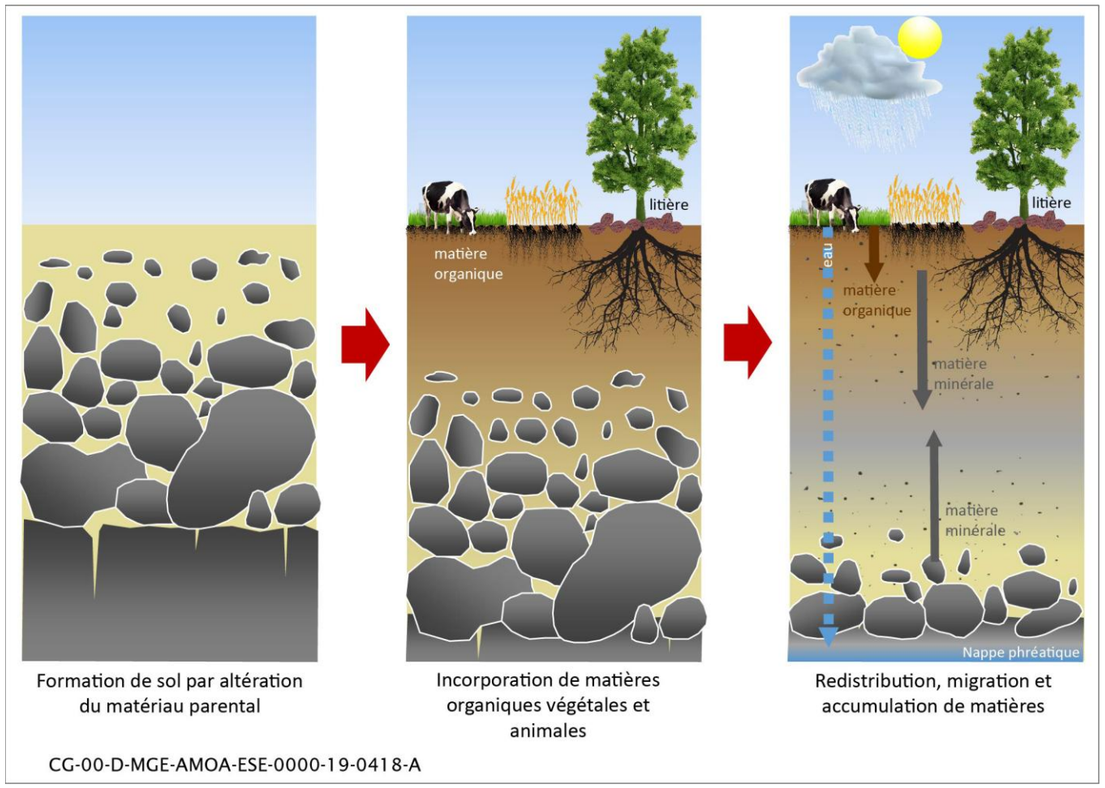


Figure 3-9 Schématisation des étapes de la formation d'un sol

La diversité des sols est liée à la variabilité des facteurs de leur formation : la roche sous-jacente d'origine, le climat, l'activité biologique (en particulier la végétation), la topographie et le temps. Selon leur nature et leur origine, les roches subissent des processus d'altération différents, et plus ou moins marqués, donnant naissance à des sols variés. Ainsi, une même roche ne s'altère pas de la même façon selon le climat. De plus, en favorisant le départ ou l'accumulation de matières, le relief a également une action prépondérante. Enfin, l'activité biologique, par l'apport de matières organiques issues essentiellement de la décomposition des végétaux et par la modification de l'assemblage des constituants du sol, joue également un rôle primordial dans la formation des sols. Ces processus de pédogénèse se déroulent sur des temps très longs : de quelques dizaines de milliers d'années à plus de 100 000 ans. La formation des sols varie ainsi selon le type d'écosystème et est considérée comme un service écosystémique de support important (service écosystémique de formation des sols).

3.3.2.2 Distribution des types de sols

CARACTERISATION DES SOLS

En France, les différents types de sols sont classés et nommés selon une nomenclature particulière décrite dans le Référentiel pédologique français (AFES, 2008) (54).

Les unités de sols sont classées selon plusieurs critères tels que :

- la position dans le paysage (plateaux, coteaux, vallées) ;
- le **substrat géologique,** c'est-à-dire la roche sous-jacente (calcaire, marne, sable, alluvions…) ;
- l'épaisseur du sol au-dessus de la roche non altérée (de faible épaisseur jusqu'à 30 cm à sol épais au-delà de 80 cm) ;
- la **carbonatation,** liée à la présence plus ou moins importante de calcaire ;
- la **texture**, qui dépend de la répartition granulométrique de ses constituants, c'est-à-dire la répartition entre les **argiles** de taille inférieure à 2 µm, les **limons** dont la taille est comprise entre 2 µm et 50 µm et les **sables** dont la taille est comprise entre 50 µm et 2 mm ;
- la **pierrosité,** qui prend en compte la quantité d'éléments grossiers (>2 mm) dans le sol (sol plus ou moins caillouteux) ;
- la **structure,** qui décrit le mode d'organisation dans l'espace, la forme des agrégats de ses constituants de granulométrie variable ;
- l'**hydromorphie**, correspondant aux traces laissées par la présence régulière d'eau ;
- l'**acidité**, qui est la concentration d'un milieu en ions H+ que l'on mesure en pH. Les réactions acido-basiques sont au cœur de procédés organiques, comme par exemple la dégradation des matières organiques. L'eau a un pH neutre égal à 7, le jus de citron est acide avec un pH inférieur à 4, l'ammoniac est basique avec un pH supérieur à 10.

Les sols **colluviaux** ou de bas de pente sont formés à partir des matériaux arrachés par l'érosion aux pentes situées au-dessus.

3.3.2.2.1 Distribution des types de sols dans l'aire d'étude éloignée

Les types de sols présents dans l'aire d'étude éloignée ont été identifiés à partir des unités de sols définies dans les référentiels régionaux pédologiques (RRP) au 1/250 000 de Lorraine et de Haute-Marne (55, 56) (Chambre d'agriculture régionale du Grand Est, INRAE unité Infosol) (cf. Figure 3-10). La méthode de détermination et de cartographie de ces unités de sols est détaillée au chapitre 3.3.1 du volume VII de la présente étude d'impact. Ces types de sols sont regroupés en trois grands ensembles en fonction de la nature du matériau géologique parental sous-jacent (calcaires/marnes, limons sableux ou alluvions) et de leur position dans le paysage (plateaux, coteaux ou fonds de vallons et de vallées). Au sein de ces ensembles, les grandes catégories de sols présents dans l'aire d'étude éloignée sont :

- des sols issus de matériaux calcaires : soit des calcaires durs du Portlandien (Tithonien, communément appelés calcaires du Barrois) sur la majeure partie du territoire, soit des calcaires tendres de l'Oxfordien à l'extrême sud-est, soit des marnes du Kimméridgien au sud-est également. Ce sont principalement des sols de types CALCOSOLS, c'est-à-dire des sols moyennement épais à épais (>30 cm d'épaisseur), riches en carbonates de calcium sur toute leur épaisseur, et donc à pH basique. Ils sont fréquemment argileux ou argilo-limoneux, plus ou moins caillouteux, plus ou moins séchants et souvent très perméables. Lorsqu'ils sont superficiels (<30 cm d'épaisseur) avec les mêmes propriétés, il s'agit de RENDOSOLS, également très présents dans l'aire d'étude éloignée, plus particulièrement sur les coteaux calcaires. Dans les situations de décarbonatation[9] des sols, on passe à des CALCISOLS, ou à des RENDISOLS pour les plus superficiels, caractérisés par un appauvrissement en carbonates de calcium, donc de pH neutre à basique, et peu caillouteux ;

[9] Processus de dissolution des carbonates

- des sols évolués ou peu évolués sur matériaux limono-argilo-sableux : soit issus des formations du Crétacé (du Valanginien ou de l'Hauterivien et du Barrémien) majoritairement dans la partie nord/nord-ouest de l'aire d'étude éloignée, soit issus de formations quaternaires limoneuses d'origine éolienne (lœss) localisées très ponctuellement au sud-est de l'aire d'étude éloignée. Ces sols, limono-sableux ou limono-argileux, sont plus ou moins évolués, c'est-à-dire qu'ils sont marqués par des processus de lessivage vertical (entraînement en profondeur) de particules d'argile et de fer qui s'accumulent à une certaine profondeur, entraînant une différenciation morphologique et fonctionnelle plus ou moins marquée entre la surface du sol et sa profondeur. Les sols de ces ensembles sont des luvisols, les plus évolués, des néoluvisols, moins évolués, et des brunisols, relativement peu différenciés mais avec un horizon intermédiaire à structure nette en agrégats. Ces sols sont généralement profonds ou moyennement profonds (>60 cm d'épaisseur) et faiblement acides (pH 6-7) à acides (pH <6). Ils ont également tendance à être marqués par des traces d'hydromorphie (coloration bariolée du sol liée à un engorgement en eau temporaire) à plus ou moins faible profondeur. La présence d'hydromorphie en surface qualifie alors les sols de luvisols-rédoxisols ;
- des sols de fond de vallons ou de vallées : soit en fond de vallons humides sur marnes du Kimméridgien (en pied de cuesta), soit sur des alluvions récentes des petites vallées (Orge, Ormançon, Saulx) et des plaines alluviales (Ornain, Marne), soit sur des terrasses alluviales anciennes (Marne). Les sols de fond de vallons humides et des vallées qui entaillent l'aire d'étude éloignée du sud-est au nord-ouest sont le plus souvent des fluviosols et rédoxisols, c'est-à-dire des sols issus d'alluvions, matériaux fins déposés par les cours d'eau avec parfois quelques cailloux, et souvent marqués par la présence d'une nappe temporaire donnant des traces d'hydromorphie. Ce caractère hydromorphe temporaire est d'autant plus fréquent et marqué lorsque les alluvions récentes recouvrent les marnes peu perméables du Kimméridgien, comme à l'amont de la vallée de l'Orge en bordure de la future zone descenderie, ou dans la vallée de l'Ornain amont au nord de Gondrecourt-le-Château. La petite taille des cours d'eau de l'aire d'étude fait que ces sols ont des emprises relativement limitées sur le territoire. Ils sont de texture limono-argileuse à argileuse, profonds à moyennement profonds (>60 cm d'épaisseur), à pH neutre à basique. La présence de réductisols, sols hydromorphes engorgés en quasi-permanence (gley), est assez rare et localisée (vallée de l'Ognon sur les communes de Cirfontaines-en-Ornois et Laneuville-au-Bois). Enfin, la présence de terrasses alluviales anciennes sur la Marne donne des calcisols, développés sur grèves calcaires, mais qui sont décarbonatés, limono-argileux et de profondeur variable ;

D'autres sols sont rencontrés et n'appartiennent à aucune des trois catégories de sols citées ci-avant. Il s'agit des pelosols, présents très localement, en bordure ouest de l'aire d'étude éloignée.

Le tableau 3-1 présente les types d'unités de sols rencontrés sur l'aire d'étude éloignée et leur description. La figure 3-10 montre leur distribution.

3.3.2.2.2 Distribution des types de sols dans le sud de l'aire d'étude immédiate

La figure 3-11 et sa légende en figure 3-12 présentent la distribution des types d'unités de sols rencontrés dans le sud de l'aire d'étude immédiate (soit au niveau de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo), d'après une carte pédologique au 1/50 000 (source Andra).

L'aire d'étude immédiate est caractérisée par quatre types de sol, répartis de la manière suivante :

- au droit de la zone puits : des sols calcaires de plateaux (superficiels et caillouteux) (calcosols, rendosols et calcisols) et des sols bruns de plateaux limoneux, plus profonds et acides (brunisols) ;
- au droit de la liaison intersites : des sols calcaires de plateaux (calcosols, rendosols et calcisols) ;
- au droit de la zone descenderie : des sols calcaires de plateaux (calcosols, rendosols et calcisols) et des sols marneux et calcaires du Kimméridgien (calcosols) ;
- au droit de l'installation terminale embranchée : principalement des sols marneux et calcaires du Kimméridgien (calcosols) ;
- au droit de la ligne ferroviaire 027000 : des sols de vallée (alluvions calcaires hydromorphes) (fluviosols) et des sols marneux et calcaires du Kimméridgien (calcosols).

Les exploitants agricoles vont en premier lieu mettre en culture les sols plats ou à pente faible, à pH proche de la neutralité et peu hydromorphes. C'est pourquoi les sols des plateaux calcaires sont plutôt occupés par des cultures, comme autour du Laboratoire de recherche souterraine de Meuse/Haute-Marne, alors que les sols évolués, acides et profonds, issus des formations limono-argilo-sableuses du Crétacé ainsi que les sols pentus et superficiels des coteaux sont plutôt localisés sous forêts, comme sous le bois Lejuc. Des sols de coteaux associés à des zones de pentes plus ou moins fortes, correspondant à des sols bruns calcaires peu ou moyennement profonds, sont également retrouvés au niveau du tracé de la future ITE. Les sols de vallées, généralement plus profonds (de 0,6 mètre à plus d'un mètre), sont situés à proximité des cours d'eau et donc fréquemment inondés. Ils sont par conséquent difficilement cultivables et souvent laissés sous prairies d'élevages, comme le long de la ligne ferroviaire 027000 qui longe la vallée de l'Ornain. Les villes et villages étant souvent implantés à proximité des cours d'eau, ils occupent aussi généralement des types de sols localisés dans les vallées. De façon générale, les adductions d'eau potable partent des vallées où sont localisés les cours d'eau, caractérisés par des fluviosols, et traversent la gamme des sols des coteaux calcaires (calcosols/calcisols/rendosols) pour acheminer l'eau jusqu'aux plateaux calcaires.

Le chapitre 2.4.4 du présent volume fait le lien entre la qualité des sols et leur capacité de séquestration carbone. Le chapitre 8.3.3.4 du présent volume fait le lien avec la qualité agronomique des sols.

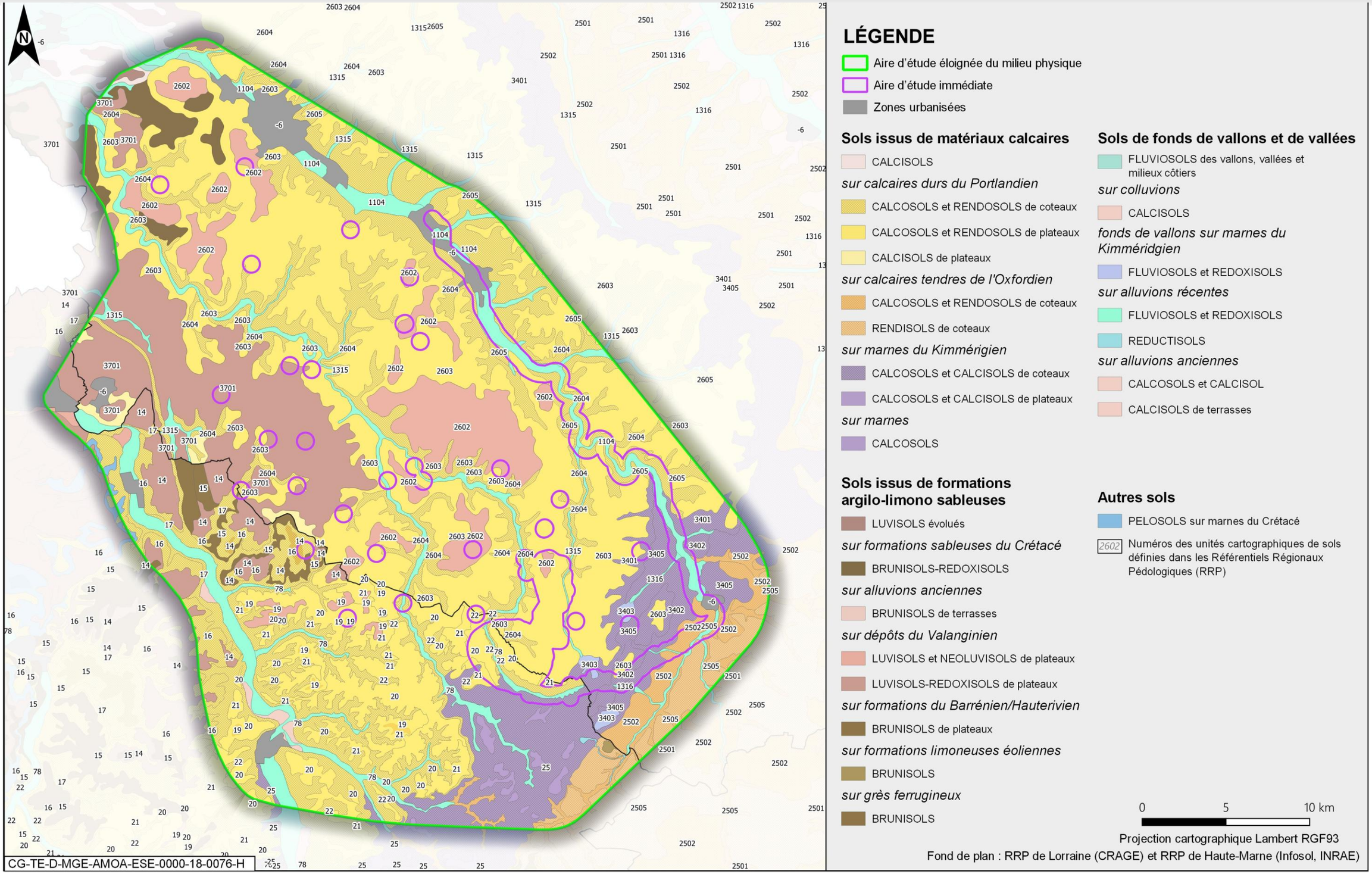


Figure 3-10 Carte pédologique du Référentiel régional pédologique (RRP), au 1/250 000, au niveau de l'aire d'étude éloignée

Tableau 3-1 Caractéristiques des unités de sols de la carte pédologique au 1/250 000 sur l'aire d'étude éloignée

	Roche sous-jacente	Position dans le paysage	Types de sols majoritaires	Description de l'unité	Profondeur moyenne	pH moyen en surface	Drainage	Texture
Sols issus de matériaux calcaires	Calcaires durs du Portlandien (Barrois)	Plateau	Calcosols à rendosols	Sols argilo-limoneux moyennement à peu profonds, carbonatés, plus ou moins caillouteux	0,1 à 0,6 m	7 à 8	Rapide	Argilo-limoneuse à argileuse
		Coteaux	Rendosols à calcosols	Sols argilo-limoneux peu profonds, carbonatés, caillouteux	<0,3 m	7 à 8	Rapide	Argilo-limoneuse à argileuse
		Plateaux	Calcisols	Sols argilo-limoneux moyennement profonds, décarbonatés, souvent caillouteux	0,3 à 0,6 m	6 à 8	Rapide	Argilo-limoneuse à limono-argileuse
	Calcaires tendres de l'Oxfordien	Coteaux	Calcosols et rendosols	Sols argilo-limoneux moyennement à peu profonds, carbonatés, plus ou moins caillouteux	0,1 à 0,6 m	7 à 8	Rapide	Argilo-limoneuse à argileuse
		Coteaux	Rendisols	Sols argilo-limoneux peu profonds, décarbonatés, caillouteux	<0,3 m	6 à 8	Rapide	Argilo-limoneuse à argileuse
	Marnes et calcaires du Kimméridgien	Plateaux	Calcosols à calcisols	Sols argileux moyennement profonds, plus ou moins carbonatés, parfois caillouteux, et localement hydromorphes	0,3 à 0,6 m	6 à 8	Favorable à Modéré	Argileuse à argilo-limoneuse
		Coteaux						
Sols issus de formations limono-argilo -sableuses	Dépôts du Valanginien	Plateaux	Luvisols à neoluvisols	Sols évolués, limono-sableux ou limono-argileux, profonds à moyennement profonds, légèrement acides, parfois hydromorphes	0,6 à 0,1 m	5 à 7	Favorable	Limono-sableuse à limono-argileuse
		Plateaux	Luvisols-redoxisols	Sols évolués, limono-sableux ou limono-argileux, profonds, légèrement acides, souvent hydromorphes	>1 m	5 à 7	Imparfait	Limono-sableuse, argileuse en profondeur
	Limons éoliens	Plateaux	Brunisols	Sols peu évolués à texture variable, peu profonds, plus ou moins carbonatés	<0,3 m	6 à 8	Rapide	Variable
Sols de fonds de vallons et de vallées	Marnes et calcaires du Kimméridgien	Vallons humides	Fluviosols et redoxisols	Sols argileux, généralement profonds, hydromorphes	0,6 à 1,1 m	6 à 8	Modéré	Argileuse
	Alluvions récentes	Vallées	Fluviosols et redoxisols	Sols limono-argileux, généralement profonds, parfois hydromorphes	0,6 à 1,1 m	6 à 8	Favorable	Limono-argileuse à argileuse
Autres sols	Marnes du Crétacé	Coteaux	Pelosols	Sols hydromorphes, argileux décarbonatés des formations marneuses	0,3 à 0,6 m	6 à 8	Imparfait	Argileuse

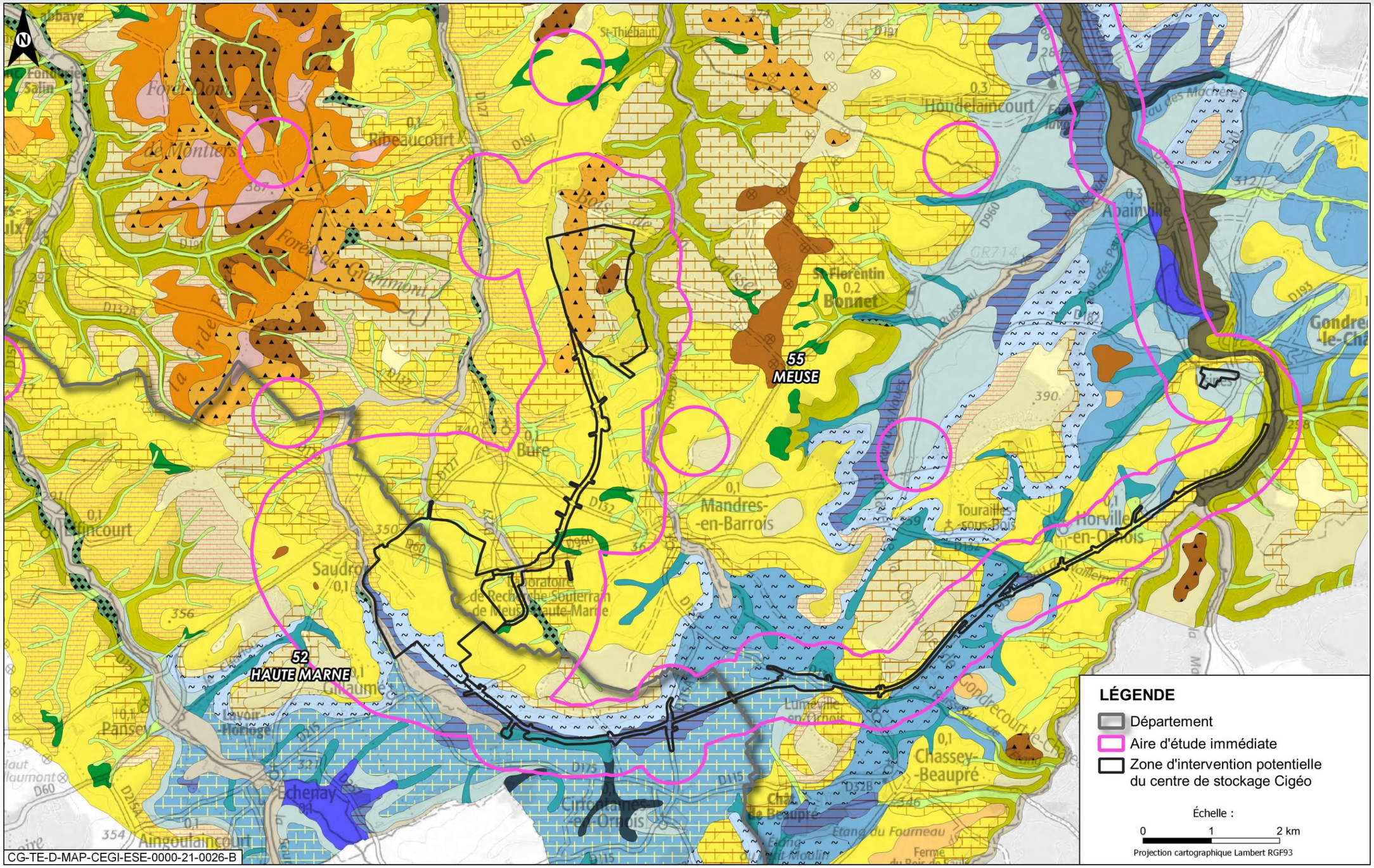


Figure 3-11 Carte pédologique au 1/50 000 au niveau de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo



Figure 3-12 *Légende de la carte pédologique au 1/50 000*

3.3.3 Caractéristiques physiques des sols

La majorité des sols de l'aire d'étude éloignée appartient à la classe des sols calcimagnésiques, c'est-à-dire composés d'une part importante de carbonates de calcium et de magnésium. Cette caractéristique est due à la richesse de la roche sous-jacente (calcaires et marnes) en carbonate de calcium. Elle donne des sols de granulométrie majoritairement argileuse à limoneuse.

La majeure partie de l'aire d'étude éloignée est en effet couverte par des sols bruns de plateaux calcaires correspondant au sud du plateau du Barrois. Les sols de coteaux sont plus présents au sud et à l'est de l'aire d'étude et sur les flancs de vallées. Ces sols de plateaux et coteaux calcaires sont des sols peu ou moyennement épais (souvent <0,5 mètre d'épaisseur), plus ou moins carbonatés, plutôt argilo-limoneux, souvent caillouteux et perméables. Le nord/nord-ouest de l'aire d'étude est quant à lui dominé par des sols évolués ou peu évolués, limono-argilo-sableux, issus des formations du Crétacé. Ce sont des sols bien différenciés, souvent profonds, non carbonatés et légèrement acides. Enfin, les sols de fond de vallons et de vallées, relativement profonds et parfois hydromorphes, couvrent de faibles surfaces associées aux cours d'eau comme l'Ornain, l'Orge ou l'Ormançon, la Saulx et la Marne.

3.3.4 Caractéristiques naturelles chimiques des sols

Les sols de l'aire d'étude éloignée sont des sols plutôt neutres à basiques, de pH en moyenne plus élevé (entre 6 et 8) qu'au niveau national, du fait de la nature majoritairement carbonatée de la roche sous-jacente. Les pH sont plus acides sous les forêts que sous les cultures ou les prairies.

Les teneurs en calcaire total dans les sols sont très variables en fonction de la nature de la roche sous-jacente. Ainsi, les concentrations sont les plus fortes au sud-est de l'aire d'étude rapprochée où affleurent les formations géologiques du Kimméridgien et des calcaires du Barrois.

Les teneurs en carbone organique et azote dans les sols dépendent principalement du type d'occupation du sol. Dans les horizons supérieurs, les cultures présentent les teneurs en carbone les plus faibles (de l'ordre de 20-30 g/kg) alors que les valeurs les plus élevées sont observées sous prairie (généralement >40 g/kg). Les forêts présentent des concentrations intermédiaires mais très fortement variables selon le type de sol, avec dans certains sols des concentrations en carbone organique supérieures aux valeurs de prairie. Pour l'azote, les teneurs sont relativement proches sous culture et forêt (valeurs médianes égales à 2,6 g/kg et 2,4 g/kg, respectivement), et deux fois plus importantes sous prairie.

De la même façon, les concentrations dans les sols en phosphore soluble et donc assimilable par les plantes, appelé phosphore assimilable, sont très dépendantes de l'occupation des sols. Les concentrations les plus élevées sont mesurées dans les sols de cultures et de prairies fertilisés, alors que les teneurs sont plus faibles sous les forêts. Ce paramètre est important en agronomie car il est utile pour optimiser la stratégie de fertilisation des sols.

La composition chimique des sols en éléments majeurs (éléments dont la concentration est en général supérieure à 0,1 %, à savoir le silicium, l'aluminium, le fer, le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium) est du même ordre que les valeurs nationales.

Pour les éléments traces métalliques et autres éléments mineurs présents uniquement à l'état de traces dans les sols, les concentrations sont assez homogènes. Le nord-ouest de l'aire d'étude éloignée présente un léger enrichissement naturel en fer et en certains éléments traces métalliques (Co, As, Ni…) liés à la nature de la roche mère (dépôts limono-argilo-sableux du Valanginien).

Soulignons que l'aire d'étude éloignée est caractérisée majoritairement par un milieu agricole, où la probabilité de rencontrer un terrain pollué est faible. Ainsi, pour ce qui concerne les composés organiques persistants, les concentrations en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP totaux – somme des 16 HAP) et en polychlorobiphényles (PCB – somme des 7 PCB indicateurs) dans les sols montrent une pollution diffuse et très locale en ces composés sur toute l'aire d'étude, dans les gammes de valeurs habituellement mesurées au niveau national.

Des analyses de sols ont mis en évidence des contaminations fréquentes en hydrocarbures à proximité immédiate de l'ancienne plateforme ferroviaire où sera érigée l'installation terminale embranchée, lesquelles restent cependant à des teneurs relativement faibles, inférieures aux valeurs réglementaires.

3.3.5 Caractéristiques biologiques des sols

La qualité d'un sol passe également par une caractérisation de son état biologique. En effet, certains organismes vivants du sol comme les bactéries, les champignons ou les espèces animales présentes dans le sol (vers de terre, collemboles et autres microarthropodes, etc.) peuvent être utilisés comme indicateurs de la qualité des sols et déterminants du service écosystémique de régulation de la qualité des sols.

Les sols de l'aire d'étude éloignée se caractérisent par une densité microbienne supérieure à la moyenne nationale, grâce à des propriétés physico-chimiques favorables, largement influencées par le type d'occupation des sols (prairie, forêt ou culture). Par ailleurs, l'abondance des collemboles (microarthropodes décomposeurs) est dans la moyenne nationale, plus élevée en forêt qu'en culture et en prairie.

Les sols de l'aire d'étude éloignée ont donc une qualité biologique dans la moyenne nationale ; à noter qu'ils font partie des sols les plus favorables aux communautés microbiennes.

3.3.6 Caractéristiques radiologiques des sols

L'origine de la radioactivité dans les sols de l'aire d'étude rapprochée est à la fois naturelle (principalement tellurique) et artificielle (retombées des anciens essais d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl).

La radioactivité tellurique résulte d'éléments radioactifs naturels, présents sur la Terre depuis son origine. Le « bruit de fond » radiologique naturel a toujours existé et, en moyenne, a sans doute peu varié au cours des siècles.

Les retombées de l'accident de Tchernobyl, sous forme de dépôts radioactifs, ont été modérées sur l'aire d'étude éloignée, du fait d'une altitude modeste et d'une pluviométrie faible au moment de l'accident. De même, les retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires y ont été faibles. De plus, l'aire d'étude éloignée est loin de toute activité nucléaire.

Les éléments radioactifs potentiellement présents dans les sols et donc recherchés (telluriques, issus des retombées des essais nucléaires ou de Tchernobyl) sont listés dans le tableau 3-2 ci-dessous.

Tableau 3-2 Liste des éléments radioactifs recherchés dans les sols

Sources		Éléments radioactifs
Naturelle	**Tellurique (provenant des couches géologiques)**	^{40}K (potassium) ^{232}Th (thorium) et descendants ^{235}U (uranium) et descendants ^{238}U, ^{234}U (uranium) et descendants ^{226}Ra (radium)
Artificielle	**Essais nucléaires**	$^{239+240}$Pu, ^{238}Pu (plutonium), ^{137}Cs (césium), ^{241}Am (américium)
	Accident de Tchernobyl	^{137}Cs (césium), ^{90}Sr (strontium)

Afin d'établir le bruit de fond radiologique de l'aire d'étude rapprochée, différentes mesures de radioactivité ont été réalisées par le laboratoire Subatech entre 2007 et 2009 et par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) entre 2010 et 2013. Les prélèvements sont localisés sur la figure 2-6 du chapitre 2 du volume VII de la présente étude d'impact.

Spécifiquement pour les sols, les sites de prélèvements ont été choisis en fonction de :

- la nature de la roche sous-jacente, source de radionucléides d'origine tellurique ;
- la nature de la végétation, qui peut influencer le dépôt des aérosols.

Les prélèvements de sols ont été effectués sur différentes roches mères et ont été prélevés à des profondeurs variables selon les sites (de la surface à 60 cm de profondeur). La méthodologie d'analyse des éléments radioactifs de l'état initial des sols est présentée au chapitre 3.2.4 du volume VII de la présente étude d'impact.

3.3.6.1 Radioactivité naturelle

La radioactivité naturelle est essentiellement due, pour sa part tellurique, au ^{40}K (potassium-40) ainsi qu'aux filiations radioactives naturelles de l'^{238}U (uranium-238) et du ^{232}Th (thorium-232). Ces éléments radioactifs sont aussi présents dans le sous-sol (cf. Chapitre 4.4 du présent volume).

Les sols analysés témoignent d'un niveau de radioactivité en ^{40}K (potassium-40), élément radioactif d'origine tellurique, compris entre 243 ± 26 Bq.kg^{-1} et 520 ± 60 Bq.kg^{-1} dans les sols de forêt. Ces valeurs sont cohérentes avec le niveau d'activité moyenne mesurée dans les sols en France (cf. Figure 3-15) (43).

Les niveaux de radioactivité en ^{238}U (uranium-238) et en ^{232}Th (thorium-232) des sols varient respectivement entre 19 ± 3 Bq.kg^{-1} et 53 ± 6 Bq.kg^{-1} et entre 27 ± 4 Bq.kg^{-1} et 64 ± 8 Bq.kg^{-1}. Les rapports isotopiques d'activités ^{234}U/ ^{238}U (uranium-234 et uranium-238) sont soit égaux à 1, soit très proches de 1, témoignant de l'équilibre séculaire entre ces deux isotopes de l'uranium et donc d'une origine naturelle.

DEFINITION

La **filiation radioactive** désigne la série de désintégrations en cascade que subissent certains noyaux. Dans la nature, les filiations radioactives concernent principalement trois éléments lourds dont la période radioactive est de 4,5 milliards pour l'uranium-238, de 0,7 milliard pour l'uranium-235 et de 14 milliards pour le thorium-232 (cf. Figure 3-13). Les descendants de ces trois noyaux, présents dans les roches, contribuent à la radioactivité naturelle. La Terre étant vieille de 4,5 milliards d'années, il s'est établi, au sein de ces trois filiations radioactives, un équilibre entre les quantités du noyau père et celles de ses descendants. Ces quantités évoluent si lentement que cet **équilibre** est dit **séculaire**. À chaque instant, il se forme autant de noyaux d'un élément de la descendance qu'il ne s'en désintègre (cf. Figure 3-14). Toutes les activités des « descendants » sont pratiquement constantes et égales à celle du noyau « père », tête de famille.

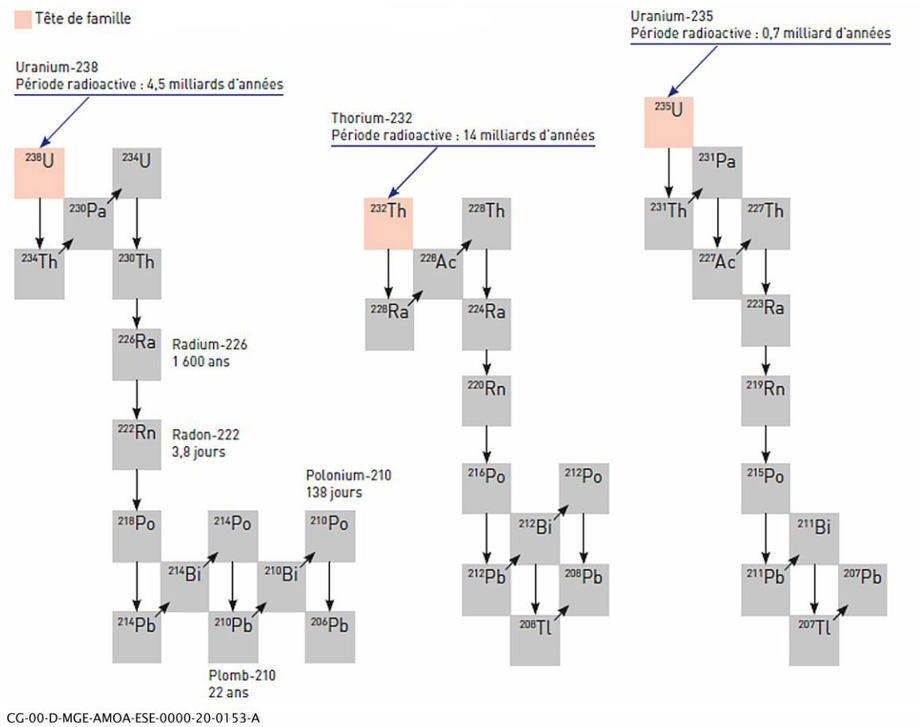


Figure 3-13 Chaînes de désintégration de l'Uranium-238, du Thiorium-232 et de l'Uranium-235

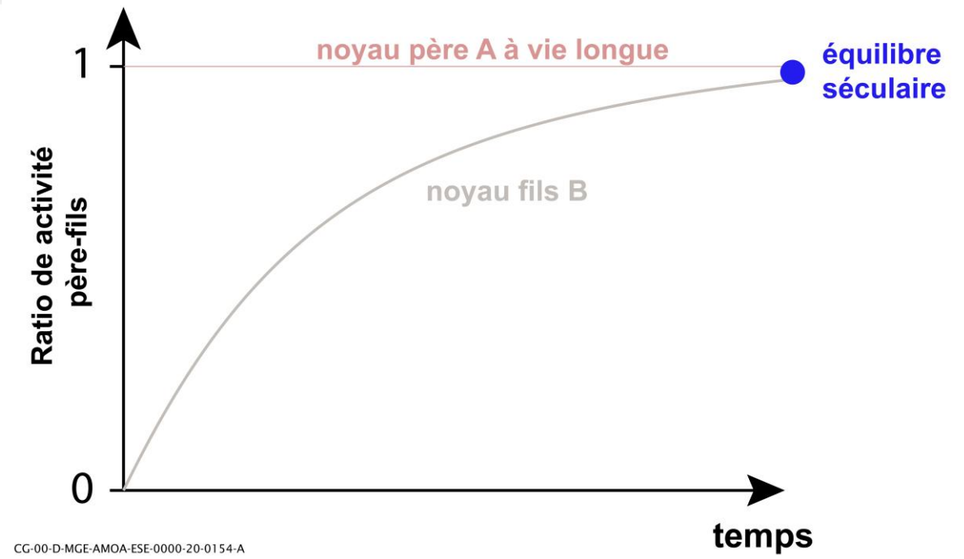


Figure 3-14 Schéma de synthèse de l'équilibre séculaire

Les niveaux de radioactivité en ^{235}U (uranium-235) sont plus faibles, compris entre 0,6 Bq.kg^{-1} et 1,6 Bq.kg^{-1} sec et les rapports isotopiques de masse ^{235}U/^{238}U sont tous groupés autour de 0,72 % valeur représentative de l'^{235}U dans l'uranium naturel.

Le niveau de radioactivité en ^{226}Ra (radium-226) des sols de l'aire d'étude est variable de 39 ± 4 Bq.kg^{-1} à 101 ± 10 Bq.kg^{-1} selon ses caractéristiques. Ce niveau témoigne de la présence de roches sédimentaires à faible teneur en uranium et descendants.

Les valeurs d'^{238}U, ^{235}U, ^{226}Ra, ^{232}Th correspondent aux niveaux d'activité moyenne mesurée dans les sols en France (cf. Figure 3-15).

Ces niveaux caractérisent des formations géologiques sédimentaires à l'écart des activités nucléaires actuelles.

3.3.6.2 Radioactivité artificielle

Le ^{137}Cs (césium-137) est présent sur tous les sols prélevés. Sa présence est due aux retombées de l'accident de Tchernobyl majoritairement et aux anciens essais aériens d'armes nucléaires. Les niveaux de radioactivité en ^{137}Cs mesurés entre 2010 et 2013 varient de 14 ± 1 Bq.kg^{-1} à 36 ± 4 Bq.kg^{-1} et sont cohérents avec le niveau d'activité moyenne mesurée dans les sols du Grand Est en France (cf. Figure 3-15) (43)).

L'activité en ^{90}Sr (essais nucléaires et accident de Tchernobyl) est très faible et relativement homogène au sein des différents profils de sols, quelle que soit l'occupation du sol (comprise entre 1 et 2 Bq.kg^{-1} quelle que soit la profondeur). Ces valeurs sont cohérentes avec le niveau d'activité moyenne mesurée dans les sols en France (cf. Figure 3-15).

Les sols analysés présentent des variations de l'activité en plutonium et en américium en fonction de la profondeur. Dans les deux litières forestières analysées, les activités en transuraniens sont faibles, en comparaison aux activités des sols de surface (0 - 10 cm). Dans les sols de zones de cultures, les activités en américium sont homogènes jusqu'à 30 cm de profondeur (de l'ordre de 0,08 Bq.kg^{-1} avec une fourchette de variation comprise entre 0,0018 Bq.kg^{-1} et 0,37 Bq.kg^{-1}) avec un rapport d'activités ^{241}Am/$^{239+240}$Pu des sols de 0,4 et identiques aux rapports observés dans d'autres zones du territoire français. L'^{241}Am ne figurait pas dans les retombées des essais nucléaires, il a été progressivement produit par la désintégration du ^{241}Pu (période radioactive de 14 ans). Les concentrations en ^{241}Am augmentent donc au fil des années pour atteindre leur maximum en 2036 avant de diminuer très lentement par décroissance radioactive (430 ans de période).

Les retombées consécutives aux essais atmosphériques d'armes nucléaires induisent également la présence de plutonium (rapport isotopique d'activités $^{238}Pu/^{239+240}Pu$ = 0,03). Les inventaires en $^{239+240}Pu$ des sols montrent que le niveau de radioactivité le plus fort observé en surface varie entre 0,2 ± 0,01 Bq.kg^{-1} et 0,9 ± 0,03 Bq.kg^{-1}. Ces valeurs sont cohérentes avec le niveau d'activité moyenne mesurée dans les sols en France (cf. Figure 3-15).

3.3.6.3 Synthèse du bruit de fond radiologique

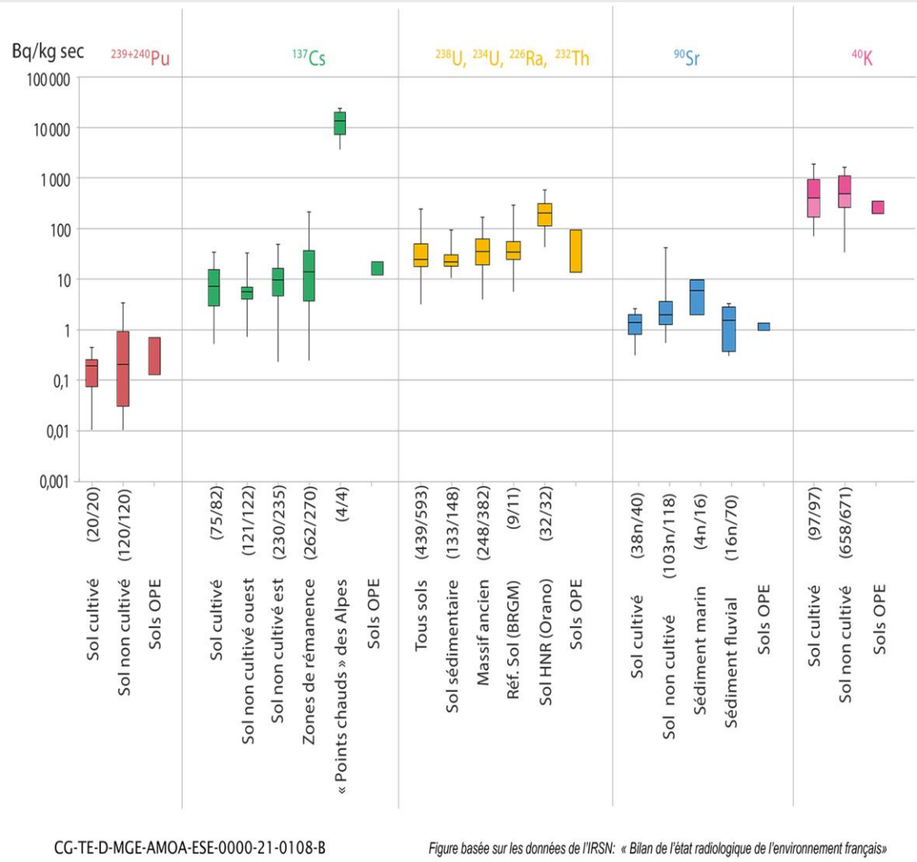
La synthèse des résultats obtenus sur les sols de l'aire d'étude rapprochée du milieu physique est présentée dans le tableau 3-3.

Les faibles niveaux de radioactivité mesurés traduisent une zone à l'écart des activités nucléaires actuelles.

Tableau 3-3 Niveaux de radioactivité mesurés dans les sols de l'aire d'étude rapprochée du milieu physique (prélèvements en 2010)

Origine	Éléments radioactifs	Intervalle de valeurs mesurées	Unité
Naturelle	^{40}K (potassium)	243 à 520	Bq/kg sec
	^{232}Th (thorium)	27 à 64	Bq/kg sec
	^{235}U (uranium)	0,6 à 1,6	Bq/kg sec
	^{238}U (uranium)	19 à 53	Bq/kg sec
	^{226}Ra (radium)	39 à 101	Bq/kg sec
Artificielle	^{137}Cs (césium)	14 à 36	Bq/kg sec
	^{90}Sr (strontium)	1 à 2	Bq/kg sec
	^{241}Am (américium)	0,0018 à 0,37	Bq/kg sec
	$^{239+240}Pu$ (plutonium)	0,2 à 0,9	Bq/kg sec

La figure 3-15 montre que les niveaux mesurés sont cohérents avec le bruit de fond des sols français. Ces valeurs de référence françaises 2018-2020 (43) restent du même ordre de grandeur que celles figurant le bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2011 à 2014, dates plus cohérentes avec les campagnes de mesures IRSN entre 2010 et 2013 (57). En effet, certains radionucléides artificiels déposés suite aux essais nucléaires ou à l'accident de Tchernobyl subissent une décroissance radioactive en lien avec leur période (environ trente ans pour ^{90}Sr et ^{137}Cs).



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-21-0108-B *Figure basée sur les données de l'IRSN: « Bilan de l'état radiologique de l'environnement français»*

Figure 3-15 Comparaison des activités massiques entre les sols OPE et les sols français d'après IRSN

3.4 Sites et sols pollués ou potentiellement pollués

» SITE POLLUÉ

Un site pollué est un site qui, du fait d'anciens dépôts de déchets ou d'infiltration de substances polluantes, présente une pollution susceptible de provoquer une nuisance ou un risque pérenne pour les personnes ou l'environnement.

Ces situations sont souvent dues à d'anciennes pratiques sommaires d'élimination des déchets, mais aussi à des fuites ou à des épandages de produits chimiques, accidentels ou pas. Il existe également autour de certains sites des contaminations dues à des retombées de rejets atmosphériques accumulés au cours des années voire des décennies.

*Source : **https://basol.developpement-durable.gouv.fr/accueil.php***

Les activités industrielles représentent une source potentielle de pollution des sols, du sous-sol et des eaux souterraines. Les recherches dans les bases de données BASOL et CASIAS du ministère de l'Environnement permettent d'identifier les principales sources de pollution potentielle (58) :

- BASOL répertorie les sites pollués appelant une action des pouvoirs publics ;
- CASIAS est l'inventaire historique des sites industriels et activités de service passés et actuels pouvant constituer une source de pollution.

Le recensement des sites et sols pollués a été complété notamment grâce aux données des Secteurs d'information sur les sols (SIS). Les sites et sols pollués ont été relevés au sein de l'aire d'étude rapprochée, au sein de laquelle ils sont susceptibles d'avoir une influence sur la qualité des sols et des eaux souterraines en interaction avec le projet global Cigéo.

3.4.1 Sites CASIAS (anciennement BASIAS)

Le recensement des sites industriels et activités de service figurant dans la base de données CASIAS dans l'aire d'étude immédiate et éloignée est présenté sur la figure 3-18. Au total, 85 sites sont recensés dans l'aire d'étude immédiate et plus de 500 dans l'aire d'étude éloignée. On notera que certains sites mentionnés dans la base de données CASIAS ne sont pas localisés. L'absence de localisation ne permet pas de les étudier.

La présente étude d'impact s'attache d'abord à décrire plus particulièrement les enjeux des sites situés au droit des travaux les plus importants en termes de terrassements, à savoir ceux du centre de stockage Cigéo, dans la partie sud de l'aire d'étude rapprochée.

Le tableau 3-4 présente :

- les sites CASIAS localisés dans la partie sud et sud-est de l'aire d'étude immédiate, à proximité du centre de stockage Cigéo (susceptibles d'avoir généré une pollution des sols et éventuellement des eaux) ;
- les sites CASIAS localisés en dehors de l'aire d'étude immédiate mais à l'amont hydraulique proche du centre de stockage (susceptibles d'avoir engendré une pollution des eaux souterraines qui peut migrer vers l'aire d'étude immédiate).

Soulignons qu'au droit des travaux les plus importants en termes de terrassements, qui concernent la partie sud de l'aire immédiate autour du centre de stockage, un seul site CASIAS est répertorié. Il s'agit du « Laboratoire souterrain de Meuse Haute-Marne Andra ».

Ensuite, plusieurs sites industriels et activités de service, susceptibles d'avoir eu une incidence sur la qualité des sols et des eaux souterraines, sont recensés le long de la ligne ferroviaire 027000, dans la partie est et nord-est de l'aire d'étude immédiate. Soulignons dans ce secteur, où les travaux sont moins conséquents en termes de volumes et de durée de terrassement, la présence d'une forte concentration de sites CASIAS. Cette concentration de sites est inégalement répartie selon les communes, et ces sites sont majoritairement localisés à Ligny-en-Barrois. Ils présentent également des typologies variées, comme illustré par la figure 3-16 et la figure 3-17 ci-après.

Enfin, trois sites CASIAS complémentaires sont situés au sein de l'aire d'étude immédiate en dehors des secteurs présentés précédemment. Il s'agit d'un site de dépôt et distribution de liquides inflammables (« ENTREPRISE BALL Robert »), et de deux stations-services (« RAOULX et Cia SA PETROLESSENCE (TOTAL) » et « LANCE Raymond »), localisés sur la figure 3-18 dans la partie nord-ouest de la carte.

Ces trois sites industriels et activités de service ainsi que ceux recensés le long de la ligne ferroviaire 027000 sont répertoriés dans un tableau en annexe 1 du présent volume III.

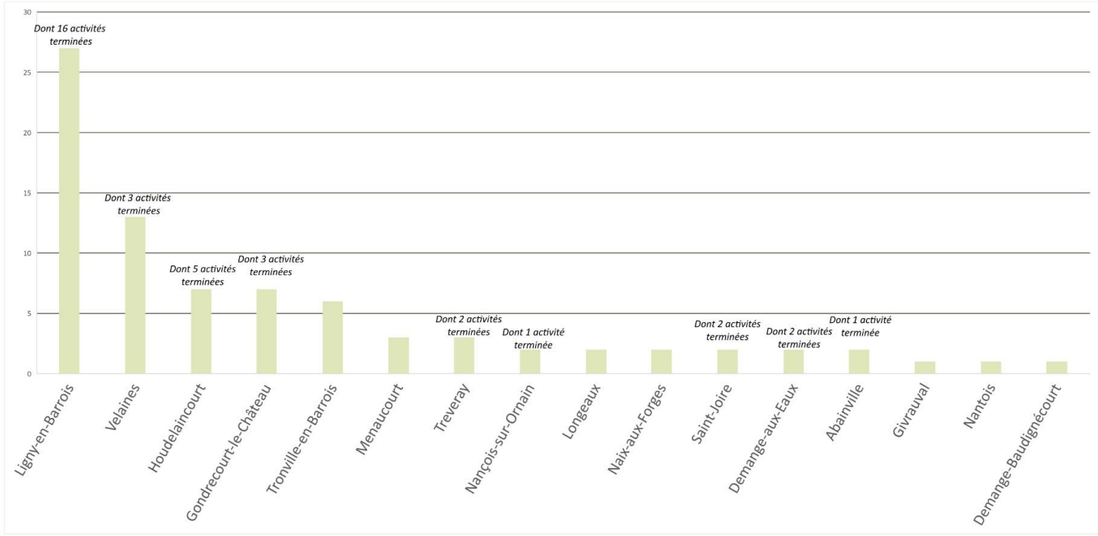


Figure 3-16 *Nombre de sites CASIAS par commune dans la partie est et nord-est de l'aire d'étude immédiate, le long de la ligne ferroviaire 027000*

Figure 3-17 *Répartition des sites CASIAS par typologie dans la partie est et nord-est de l'aire d'étude immédiate, le long de la ligne ferroviaire 027000*

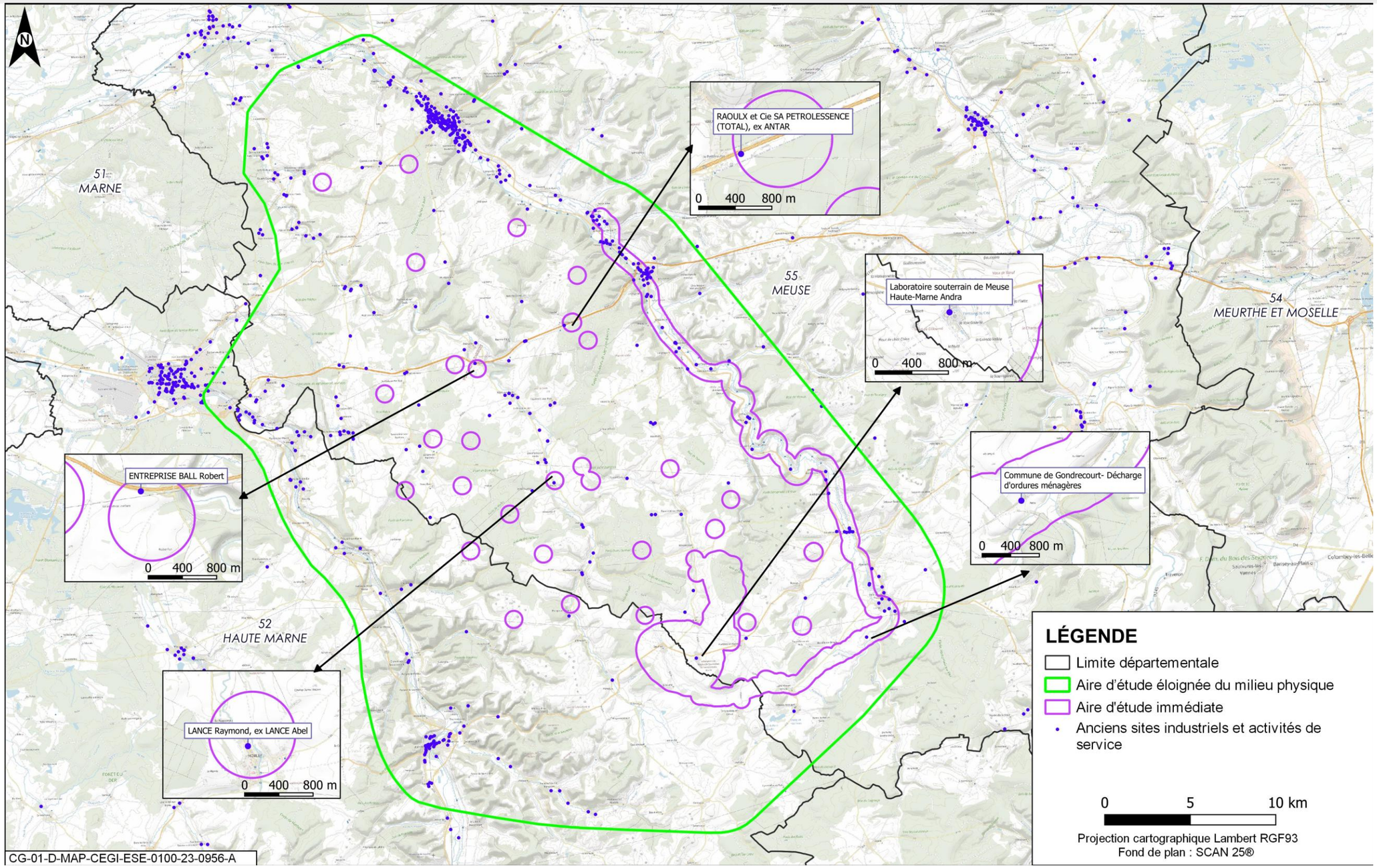


Figure 3-18 Recensement des sites CASIAS dans l'aire d'étude immédiate (source : CASIAS)

Tableau 3-4 Sites industriels et activités de service de la base de données CASIAS localisés dans la partie sud et sud-est de l'aire d'étude immédiate et à l'amont hydraulique proche du centre de stockage

Nom de l'établissement	ID	Commune	Activités	État du site	Situation vis-à-vis de l'aire d'étude immédiate du centre de stockage	Situation hydraulique du site vis-à-vis de la masse d'eau souterraine	Situation hydraulique du site vis-à-vis de la masse d'eau superficielle	Distance approximative des installations de surface
KENNEL Joseph et Fils SA	LOR5503191	Chassey Beaupré	Scierie, garage, dépôt de liquide inflammable, ex. laiterie	Inconnu	Exclu	Amont hydraulique de l'aire d'étude immédiate – Masse d'eau souterraine des calcaires du Kimméridgien-oxfordien karstique entre seine et Ornain	Inclus dans le sous-secteur hydrographique de l'Ornain de sa source au confluent de la Saulx	À environ 1 km au sud de l'aire d'étude immédiate de l'ITE
Darcemont	LOR5501072	Mandres-en-Barrois	Garage, ex-station-service - Garages, ateliers, mécanique et soudure (Depuis 1956)	En activité	Exclu	Amont hydraulique de l'aire d'étude immédiate –sus jacent à la masse d'eau des calcaires Tithonien karstique entre Seine et Ornain	Inclus dans le sous-secteur hydrographique de la Saulx, de sa source au confluent de l'Ornain exclu.	2,2 km au sud de la zone puits
Laboratoire souterrain de Meuse Haute-Marne Andra*	LOR5503131	Bure	Laboratoire souterrain (Creusement et expérimentations scientifiques, depuis 2000)	En activité	Inclus	Amont hydraulique de l'aire d'étude immédiate –sus jacent à la masse d'eau des calcaires Tithonien karstique entre Seine et Ornain	Inclus dans le sous-secteur hydrographique de la Saulx, de sa source au confluent de l'Ornain exclu.	Adjacent à l'est de la zone descenderie
Décharge -Commune de Gondrecourt*	LOR5501631	Gondrecourt-le-Château	Décharge d'ordures ménagères (Depuis 1976)	Dépollué	Inclus	Amont hydraulique de l'aire d'étude immédiate – sus jacent à la masse d'eau souterraine des calcaires du Kimméridgien-oxfordien karstique entre seine et Ornain	Inclus dans le sous-secteur hydrographique de l'Ornain de sa source au confluent de la Saulx	En place et lieu de la future ITE
Regnier Charles	LOR5500859	Gondrecourt-le-Château	Fonderie de suif - Fabrication d'huiles et graisses végétales et animales (Depuis 1864)	Activité terminée	Inclus	Amont hydraulique de l'aire d'étude immédiate – Masse d'eau souterraine des calcaires du Kimméridgien-oxfordien karstique entre seine et Ornain	Inclus dans le sous-secteur hydrographique de l'Ornain de sa source au confluent de la Saulx	290 mètres à l'est de la voie ferrée et rive droite de l'Ornain
Collin Sarl-Peugeot	LOR5501575	Gondrecourt-le-Château	Garage, station-service	En activité	Inclus	Amont hydraulique de l'aire d'étude immédiate – Masse d'eau souterraine des calcaires du Kimméridgien-oxfordien karstique entre seine et Ornain	Inclus dans le sous-secteur hydrographique de l'Ornain de sa source au confluent de la Saulx	430 mètres au nord-est de la voie ferrée et en rive droite de l'Ornain
HCT	LOR5500863	Gondrecourt-le-Château	Stockage de déchets inertes - Dépôts de gravats (Depuis 2009)	En activité	Inclus	Amont hydraulique de l'aire d'étude immédiate – Masse d'eau souterraine des calcaires du Kimméridgien-oxfordien karstique entre seine et Ornain	Inclus dans le sous-secteur hydrographique de l'Ornain de sa source au confluent de la Saulx	180 mètres au sud-ouest de la voie ferrée/ITE
Meubles Universal Style	LOR5500870	Gondrecourt-le-Château	Usine de fabrique de meubles et sièges	Activité terminée	Inclus	Amont hydraulique de l'aire d'étude immédiate – Masse d'eau souterraine des calcaires du Kimméridgien-oxfordien karstique entre seine et Ornain	Inclus dans le sous-secteur hydrographique de l'Ornain de sa source au confluent de la Saulx	En place et lieu de la future plateforme logistique de Gondrecourt-le-Château
Galand Maurice	LOR5500856	Gondrecourt-le-Château	Atelier de moulurage et de sculptage des bois (depuis 1973)	Activité terminée	Inclus	Amont hydraulique de l'aire d'étude immédiate – Masse d'eau souterraine des calcaires du Kimméridgien-oxfordien karstique entre seine et Ornain	Inclus dans le sous-secteur hydrographique de l'Ornain de sa source au confluent de la Saulx	310 mètres au nord de la voie ferrée et en rive droite de l'Ornain
Champagne Céréales	LOR5500030	Gondrecourt-le-Château	Silos, dépôt de liquides inflammables et autres produits dangereux (depuis 1989)	En activité	Inclus	Amont hydraulique de l'aire d'étude immédiate – Masse d'eau souterraine des calcaires du Kimméridgien-oxfordien karstique entre seine et Ornain	Inclus dans le sous-secteur hydrographique de l'Ornain de sa source au confluent de la Saulx	Adjacent à la voie ferrée/ITE à l'est
CALIN, ex CEREDA Frères	LOR5501571	Gondrecourt-le-Château	Installation de concassage, criblages de pierres calcaires	En activité	Exclu	Amont hydraulique de l'aire d'étude immédiate – Masse d'eau souterraine des calcaires du Kimméridgien-oxfordien karstique entre seine et Ornain	Inclus dans le sous-secteur hydrographique de l'Ornain de sa source au confluent de la Saulx	Centaine de mètres de l'aire d'étude immédiate de l'ITE

Les établissements marqués d'une (*) font l'objet d'une description plus précise ci-dessous.

Sont décrits ci-après les établissements dont la localisation est adjacente ou en lieu et place des opérations du centre de stockage et de l'ITE.

Décharge de la commune de Gondrecourt - LOR5501631

L'ancienne décharge d'ordures ménagères de Gondrecourt-le-Château, Basias LOR5501631, localisée le long de l'ITE aujourd'hui désaffectée, aurait été créée au début des années 80 et exploitée jusqu'au milieu des années 90. Cette décharge n'a jamais été autorisée au titre de la réglementation sur les ICPE. Elle recevait divers déchets domestiques (appareils électroménagers, carcasses de voitures, etc.) et des déchets de démolition du BTP. Les déchets ont été recouverts de terre en 2009 par la commune mais des dépôts sauvages de déchets divers étaient régulièrement constatés. En 2019, les déchets ont été évacués par l'Andra vers des filières de traitement agréées et des mesures environnementales ont été réalisées pour déterminer la contamination résiduelle potentiellement causée par cette ancienne décharge. Ni les sols, ni les eaux, ni l'air n'ont montré de trace de contamination.



Figure 3-19 *Décharge de Gondrecourt-le-Château avant les travaux de dépollution menés par l'Andra en 2019*

Laboratoire souterrain Meuse Haute-Marne, Andra – LOR5503131

Le Laboratoire a été classé dans la base de données Basias. Aucune pollution n'a eu lieu sur le site, que ce soit en phase travaux ou en phase de fonctionnement.

3.4.2 Sites BASOL

Aucune pollution avérée des sols n'est recensée au niveau de la partie nord de l'aire d'étude immédiate. Aucun site BASOL n'est mis en évidence sur l'aire d'étude immédiate.

Un site BASOL est recensé à Joinville, au sein de l'aire d'étude rapprochée, il s'agit des fonderies de Joinville Crassier. Ce site fait partie d'une ancienne fonderie dont les activités sont arrêtées depuis 1997. La pollution des sols est due au dépôt des déchets générés par l'activité industrielle. Ce site est également identifié dans la base de données CASIAS.

La cessation d'activités du site a été actée par arrêté préfectoral le 30 juillet 1997, qui demandait également la réalisation d'une étude de sols. Cette étude a mis en évidence l'absence d'incidence du site sur les eaux souterraines. Le site a été réaménagé par son propriétaire (écrêtage des talus, bande de sécurité de 10 mètres, clôture du terrain) (59). Cet ancien site BASOL ne présente aucun enjeu sur la qualité des sols et des eaux souterraines.

Enfin, 17 sites BASOL sont recensés dans l'aire d'étude éloignée.

3.4.3 Secteurs d'information sur les sols (SIS)

SECTEURS D'INFORMATION SUR LES SOLS (SIS)

Les secteurs d'information sur les sols (SIS) sont les terrains où l'État a connaissance d'une pollution des sols justifiante, notamment en cas de changement d'usage, la réalisation d'études de sols et la mise en place de mesures de gestion de la pollution pour préserver la santé et l'environnement.

La démarche SIS poursuit deux objectifs : améliorer l'information du public et garantir l'absence de risque sanitaire et environnemental par l'encadrement des constructions.

Selon la base de données SIS, aucun site n'est identifié dans l'aire d'étude immédiate. Sur l'aire d'étude rapprochée, le site de l'ancienne fonderie de Joinville est identifié (cf. Chapitre 3.4.2 du présent volume).

10 sites sont recensés dans l'aire d'étude éloignée.

3.4.4 Autres sources de pollutions potentielles

Ce chapitre présente les autres sources de pollutions potentielles connues susceptibles d'être présentes au sein de l'aire d'étude éloignée (fioul domestique, traitement du bois des ballasts des lignes ferroviaires, engrais et produits phytosanitaires, décharges sauvages, etc.).

De la créosote a pu être utilisée historiquement pour le traitement des traverses ferroviaires en bois de la ligne ferroviaire 027000 et de l'ITE.

L'exploitation agricole a pu être à l'origine de l'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires.

Il n'est pas exclu que des cuves de fioul domestique soient présentes pour le chauffage de bâtiments dans l'aire d'étude éloignée.

Enfin, il n'est pas exclu que des décharges sauvages ou encore des places à feux soient présentes dans l'aire d'étude éloignée.

3.5 Synthèse concernant les sols

- **Géomorphologie**

  Située dans la partie orientale du Bassin parisien, l'aire d'étude éloignée est constituée d'une succession de cuesta calcaire et de dépressions argileuses.

  La ligne électrique 400 kV traverse plusieurs unités morphologiques de façon rectiligne : la région du Saintois (vaste plaine argileuse vallonnée), l'extrémité sud du plateau de Haye, les côtes de Meuse, la vallée de la Meuse, le plateau calcaire du Barrois et le Pays du Der.

  Dans l'aire d'étude rapprochée, les altitudes varient entre 215 m et 428 m. Le projet de centre de stockage Cigéo est installé sur le front et le revers de la côte des Bars entre 300 m et 400 m d'altitude. L'ITE et la ligne ferroviaire 027000 cheminent entre 370 m et 215 m d'altitude en suivant les vallées de l'Ognon et de l'Ornain.

  Les sources d'eau potable sont localisées dans les vallées entre 200 m et 300 m d'altitude.

- **Occupation des sols**

  L'occupation des sols témoigne d'un caractère rural marqué avec les zones agricoles qui représentent 57,58 % de l'occupation des sols et les zones forestières 38,5 %. La part de sols artificialisés est de 3,8 % contre 9,3 % en France métropolitaine. Les zones urbanisées les plus importantes sont regroupées en quatre secteurs dans l'aire d'étude éloignée : dans le secteur de Joinville au sud-ouest, dans le secteur de Ligny-en-Barrois au nord-est, dans le secteur de Saint-Dizier au nord-ouest, dans le secteur de Bar-le-Duc au nord-est. Les autres secteurs urbanisés sont constitués de villages et de quelques zones industrielles ou carrières présentes ponctuellement dans ce territoire rural.

- **Pédologie**

  Les sols au niveau de l'aire d'étude éloignée sont majoritairement argileux à limoneux, généralement caillouteux et composés de carbonates de calcium et magnésium. Les épaisseurs de sol excèdent rarement 0,5 mètre. Elles peuvent atteindre un mètre sous les forêts et dans le fond de vallée le long de la ligne ferroviaire 027000.

  Les sols sont en général riches en activité microbiologique. Leur géochimie et leur concentration en polluants sont globalement comparables au niveau national. Cependant, des contaminations fréquentes mais faibles en hydrocarbures sont observées à proximité immédiate de l'ancienne plateforme ferroviaire. Au nord-ouest de l'aire d'étude éloignée, les analyses ont mis en évidence un léger enrichissement naturel en fer et autres éléments traces métalliques (Cobalt, Arsenic, Nickel…) liés à la nature de la roche mère (dépôts limono-argilo-sableux du Valanginien).

  L'origine de la radioactivité dans les sols de l'aire d'étude rapprochée est à la fois naturelle (principalement tellurique) et artificielle (retombées des anciens essais d'armes nucléaires et de l'accident de Tchernobyl).

  Elle est du niveau attendu dans ces types de formations géologiques sédimentaires à l'écart des activités nucléaires actuelles.

- **Sites et sols pollués ou potentiellement pollués**

  Les bases de données BASOL (base de données, mise à disposition par le ministère chargé de l'Environnement, sur les sites pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics) et les secteurs d'information sur les sols SIS (terrains où l'État a connaissance d'une pollution des sols justifiant la mise en place de mesures de gestion) recensent une ancienne fonderie pour ses sols pollués à Joinville, dans l'aire d'étude rapprochée. Cependant, une étude de sols a mis en évidence son absence d'incidence sur les sols et les eaux souterraines dans l'aire d'étude immédiate.

  Des sites industriels et activités de service de la base de données CASIAS (inventaire historique de sites industriels et activités de service), susceptibles d'avoir eu une incidence sur la qualité des sols et des eaux souterraines sont recensés dans l'aire d'étude rapprochée. Dans l'aire d'étude immédiate, ces sites sont essentiellement localisés le long de la ligne ferroviaire 027000. Plusieurs sites sont situés à Gondrecourt-le-Château (ancienne décharge le long de l'ITE dépolluée et réhabilitée par l'Andra en 2019, ancien site de fabrication de meubles au niveau de la plateforme logistique), néanmoins ils ne sont pas ou plus pollués. Le Laboratoire souterrain de l'Andra longe la zone descenderie, mais aucune pollution n'a eu lieu sur le site, que ce soit en phase travaux ou en phase de fonctionnement. D'autres sources potentielles de pollution sont susceptibles d'être présentes dans l'aire immédiate (cuves de fioul, produits phytosanitaires, créosotes, etc.).

Enjeux

L'aire d'étude éloignée présente un relief de cuesta typique de la bordure du Bassin parisien. Les sols sont occupés principalement par des cultures et des forêts. Les sols sont de qualité ordinaire.

Aucune pollution avérée des sols n'est recensée dans la partie nord de l'aire d'étude immédiate. Des sites industriels et activités de service susceptibles d'avoir eu une incidence sur la qualité des sols et des eaux souterraines sont recensés dans la partie sud de l'aire d'étude immédiate.

Enjeu modéré

4

Sous-Sol – État initial

4.1	Aires d'étude	76
4.2	Tectonique	77
4.3	Stratigraphie	82
4.4	Caractéristiques radiologiques du sous-sol	91
4.5	Caractéristiques radiologiques des eaux porales du Callovo-Oxfordien	93
4.6	Ressources naturelles potentielles du sous-sol	93
4.7	Risques majeurs liés à la géologie	96
4.8	Synthèse concernant le sous-sol	102

Pour étudier le stockage géologique profond et concevoir le centre de stockage Cigéo, l'Andra mène depuis environ 30 ans des recherches et expérimentations dans différentes disciplines scientifiques : géologie, géophysique, géochimie, hydrogéologie, géomécanique, sciences des matériaux… Qu'il s'agisse d'analyser l'environnement géologique du stockage ou les interactions entre les matériaux du stockage et la roche, de comprendre le comportement de la roche ou l'évolution dans le temps du site d'accueil du centre de stockage Cigéo, les géosciences constituent le fondement du projet de stockage géologique et se trouvent au cœur des activités de l'Andra.

Le présent chapitre s'attache à présenter les éléments clefs de connaissance de l'état initial du sous-sol nécessaires à l'analyse des incidences prévisibles sur l'environnement et la santé humaine. La description précise du sous-sol dans l'aire d'étude rapprochée susceptible d'être affectée par le projet s'appuie sur la connaissance du contexte géologique dans l'aire d'étude éloignée.

» DÉFINITION

La **géologie** est l'étude de la croûte terrestre, des roches qui la composent, et des processus par lesquels elle évolue. Les différentes spécialités incluses dans la géologie sont notamment la minéralogie, la géochimie, la paléontologie, la pétrologie. La géologie s'appuie également sur la géophysique qui est une discipline étudiant par les moyens de la physique (gravimétrie, sismologie…), la structure du sous-sol et du globe terrestre, ainsi que les mouvements qui l'affectent.

Les travaux scientifiques menés par l'Andra par étapes successives ont permis d'accroître les connaissances de l'environnement géologique et des propriétés de la roche argileuse, hôte du stockage. Ces études ont pour but de déterminer avec précision une couche géologique présentant toutes les caractéristiques indispensables au confinement des éléments radioactifs sur de grandes échelles de temps (cf. Chapitre 2.3 du volume II de la présente étude d'impact). L'acquisition des connaissances sur le milieu géologique dans lequel s'intègre le centre de stockage Cigéo s'est organisée autour de plusieurs démarches complémentaires qui sont détaillées chapitre 3.3 du volume VII de la présente étude d'impact) :

- plus d'une quarantaine de forages profonds de plusieurs centaines de mètres accompagnés de carottages ont été réalisés depuis les années 90 et ont confirmé la géométrie, l'épaisseur et les propriétés des formations géologiques composant le sous-sol et plus particulièrement la couche du Callovo-Oxfordien ainsi que l'absence de faille ;
- différentes campagnes sismiques 2D (1994-1996) et 3D en 2000 (4 km^2 au niveau du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne) et 2008-2010 (environ 30 km^2 sur la zone d'intérêt pour la recherche approfondie (ZIRA)) ont permis de préciser l'organisation des couches géologiques et caractériser leur géométrie (épaisseur, profondeur, extension, pendage…) ;
- des études de terrains ont été menées pour observer les formations à l'affleurement, appréhender les grands traits de l'environnement géologique, prélever des échantillons et intégrer les données dans des modèles ;
- des nombreuses investigations et expérimentations scientifiques ont été réalisées au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne afin de quantifier en conditions in situ les caractéristiques de la couche du Callovo-Oxfordien (conductivité hydraulique, conductivité thermique, caractéristiques géomécaniques, chimie des eaux interstitielles, transferts des éléments chimiques…), en particulier sa capacité de confinement des radionucléides et de constructibilité d'ouvrages souterrains.

Ces travaux visent à acquérir une compréhension fine de l'environnement et du milieu géologique du centre de stockage Cigéo, s'assurer que cet ensemble et plus particulièrement la couche du Callovo-Oxfordien, présente les propriétés attendues et évaluer son comportement à long terme.

4.1 Aires d'étude

Le facteur sous-sol est étudié grâce aux aires d'étude suivantes qui sont détaillées dans le volume VII de la présente étude d'impact :

- l'aire d'étude immédiate commune à tous les facteurs (exceptés la biodiversité ainsi que les activités agricoles et sylvicoles) qui correspond à la zone susceptible d'être affectée par les effets d'emprise des ouvrages et installations du projet global Cigéo ainsi que par les perturbations majeures liées aux travaux et activités ; elle est utilisée pour la description des risques naturels liés au milieu physique ;
- l'aire d'étude rapprochée du milieu physique qui permet de décrire le contexte d'implantation des ouvrages souterrains ; elle permet ainsi de prendre en compte les communes concernées par la ZIOS (zone d'implantation des ouvrages souterrains) et la ZIRA (zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie) qui servent à la description de la tectonique et de la stratigraphie[10] ;
- l'aire d'étude éloignée qui permet de décrire la zone de transposition dans laquelle la géologie garantit la sûreté de l'installation de stockage souterrain ; elle permet aussi de replacer la tectonique et la stratigraphie dans un contexte plus général.

Une aire d'étude spécifique décrite dans le volume VII de la présente étude d'impact est utilisée pour décrire l'état initial le long de la portion de ligne 400 kV à sécuriser.

[10] Étude de l'agencement dans l'espace et dans le temps des couches ou strates géologiques (cf. Chapitre 4.3 du présent volume)

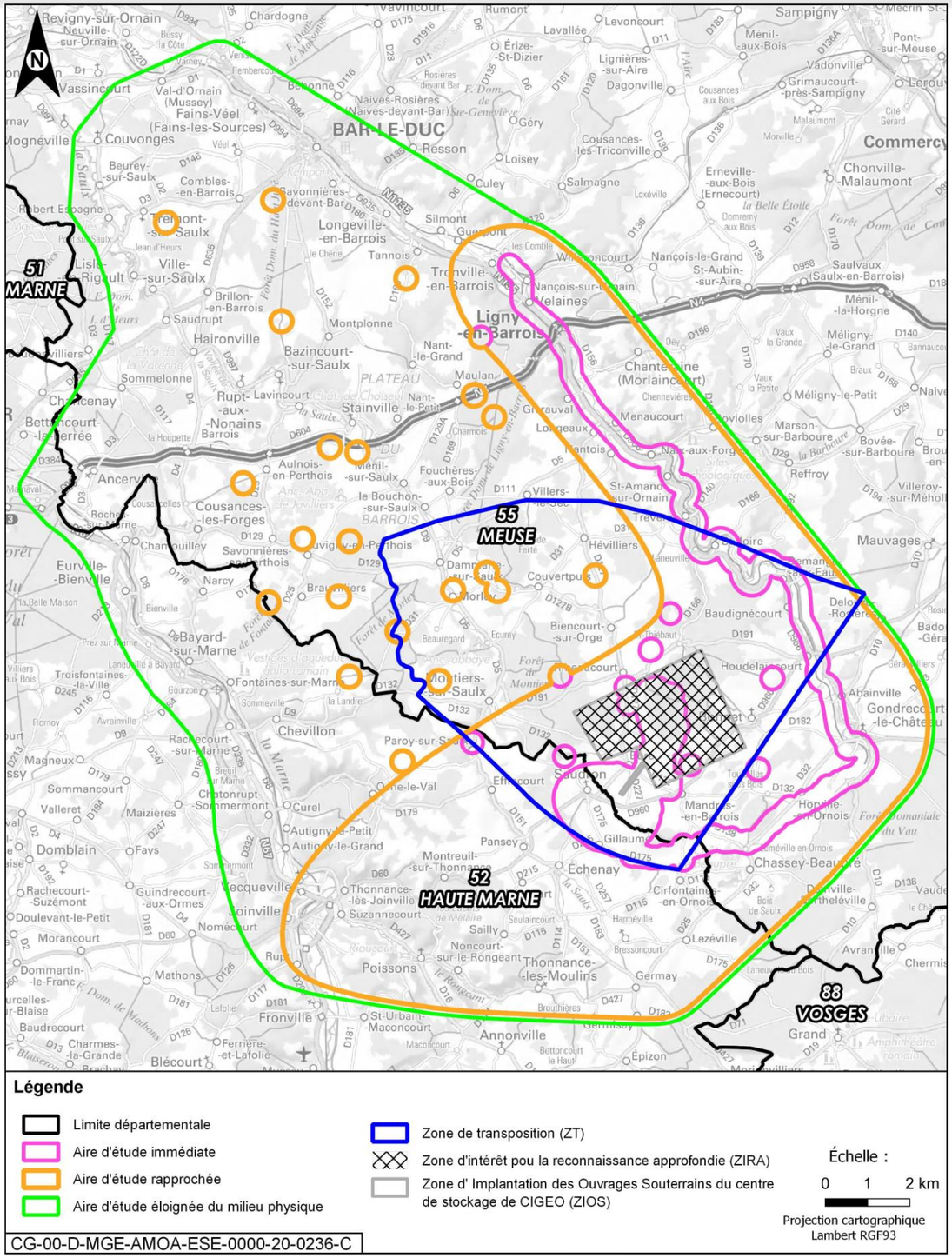


Figure 4-1 Les différentes aires d'étude du facteur sous-sol

4.2 Tectonique

DEFINITIONS

La **tectonique** est l'étude des structures géologiques d'échelle kilométrique et plus (chaînes de montagnes, bassins sédimentaires) et des mécanismes qui en sont responsables. Cette discipline est directement rattachée à la tectonique des plaques. D'abord appelée dérive des continents, la tectonique des plaques est liée à la dynamique mantellique (mouvements convectifs) et ses répercussions mécaniques et thermiques en surface (séismes, volcans, formation des océans et chaînes de montagnes…).

La **lithosphère**, couche externe de la Terre, comprenant la croûte et une partie du manteau supérieur, est découpée en plaques rigides et mobiles, les plaques tectoniques, qui « flottent » et se déplacent sur l'asthénosphère, partie supérieure du manteau terrestre plus ductile et visqueux (manteau supérieur moins la partie qui ressort à la lithosphère).

Les **plaques tectoniques**, encore appelées plaques lithosphériques épaisses d'une centaine de kilomètres, sont des fragments de la lithosphère qui résultent de son découpage lié aux mouvements dans le manteau et qui se traduit par un système de failles, de dorsales, de rifts et de zones de subduction. Les plaques lithosphériques, se déplacent de quelques centimètres par an dans des directions différentes, ce qui entraîne la formation de zones de divergence, de subduction, de collision et de coulissage. C'est dans les zones étroites qui les limitent que se concentrent les déformations (ouvertures océaniques là où elles s'écartent, création des chaînes de montagnes là où elles se rapprochent) et que se produisent la plupart des séismes.

La figure 4-2 présente la constitution de la terre de son centre vers l'extérieur connue grâce à la **sismologie** qui permet d'analyser la propagation des ondes lors des séismes. Elle a abouti à un modèle sismologique du globe caractérisé par l'existence d'enveloppes concentriques de densité croissante vers le centre de la terre et séparées les unes des autres par des discontinuités (Geowiki, 2010 (60)).

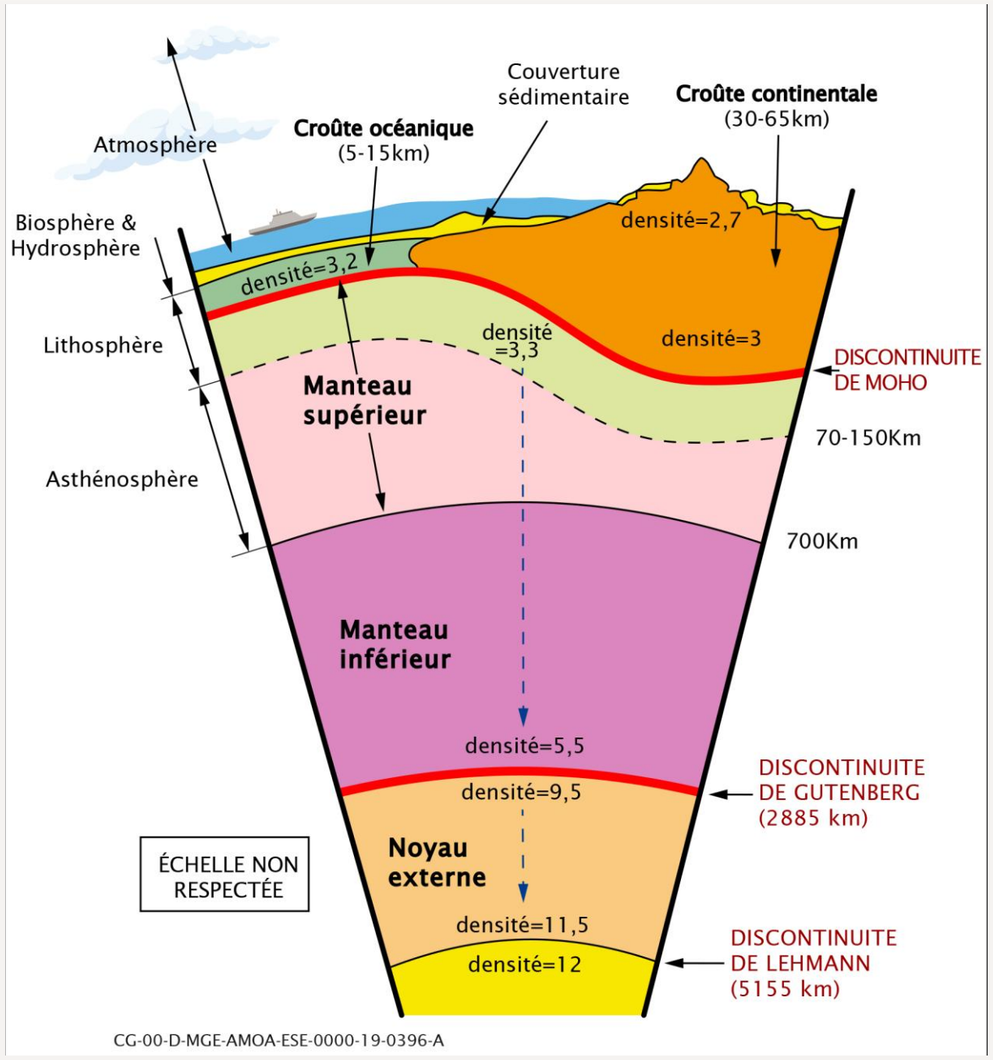


Figure 4-2 *Constitution du globe terrestre*

Le présent chapitre présente le contexte tectonique à l'échelle nationale et à l'échelle du projet global Cigéo. Le risque sismique à l'échelle du projet global Cigéo est détaillé au chapitre 4.7.2 du présent volume.

4.2.1 Rappel sur le contexte tectonique de la France

La France appartient à l'extrémité ouest de la plaque Eurasie, bordée au sud par la plaque africaine qui est affectée d'un lent mouvement vers le nord. Au niveau de la France, la vitesse de la convergence entre l'Afrique et l'Eurasie constante depuis 17 millions d'années est de l'ordre de 4 mm/an à 5 mm/an. Ce rapprochement est essentiellement absorbé (à 95 %) par les déformations qui se produisent dans la Cordillère Bétique et les Maghrébides. La très faible quantité de mouvement restant (≈0,3 mm/an) est absorbée dans les zones dites « actives » que sont l'Arc Alpin, le graben du Rhin supérieur et son épaulement vosgien et les Pyrénées ainsi que de façon mineure dans les Ardennes et le massif armoricain.

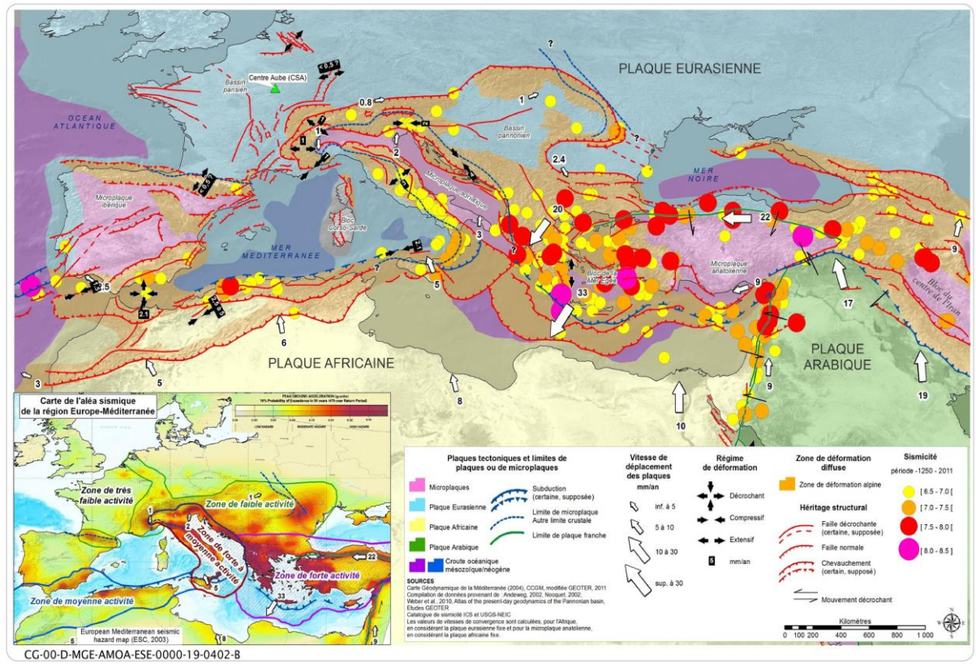


Figure 4-3 *Contexte géodynamique de la plateforme ouest-européenne (et de la France) au droit de la collision Europe/Afrique*

4.2.2 Contexte tectonique de l'aire d'étude éloignée

La zone devant accueillir le projet global Cigéo se situe en partie orientale du Bassin parisien. Ce dernier repose sur le craton (vaste zone continentale)[11] ouest européen qui est par définition l'une des zones géologiques les plus stables de la plateforme ouest-européenne se comportant comme un bloc rigide et stable. Le Bassin parisien oriental est à l'écart de toutes influences majeures de la compression alpine : il se caractérise par un taux de déformation nul à extrêmement faible et par l'absence de toute activité sismique historique (ressentie par l'homme et décrit dans les textes historiques) et instrumentale (enregistrée par des instruments géophysiques, notamment le réseau d'acquisition de mesures mis en place depuis 22 ans autour du site (réseau Andra-RES) et depuis 61 ans avec le réseau national (réseau RSN), ce qui confère à la région un caractère asismique.

[11] Un craton est une vaste zone continentale, de terrains, très plissés, en général métamorphisés et souvent largement granitiques, qui a été pénéplané et sur lequel reposent des terrains sédimentaires ou volcaniques formant la couverture.

De nombreuses structures, qu'elles soient de socle (initiées à partir des formations du socle Paléozoïque) ou de couverture (initiées à partir des formations constituant la couverture sédimentaire du Mésozoïque reposant sur le socle), ont été identifiées à partir de l'analyse de données de la littérature, de travaux de terrain et de l'interprétation d'un ensemble de profils pétroliers de sismique réflexion 2D *ante* 1994, retraités et réinterprétés en 2008 et en 2018 avec de nouvelles techniques. Ainsi, plusieurs failles sont recensées dans l'aire d'étude éloignée :

- les failles de socle de la Marne de direction nord-nord-ouest/sud-sud-est et les failles de couverture du fossé de Joinville de direction nord-est/sud-ouest ;
- le faisceau « en queue de cheval » de failles de moyenne dimension de direction nord-ouest/sud-est formant la prolongation vers le sud du réseau de failles de la Marne et formant la zone dite de « fracturation diffuse » en bordure occidentale de la zone de transposition (ZT) ;
- les failles de couverture du fossé de Gondrecourt-le-Château de direction nord-est/sud-ouest (cf. Figure 4-5).

Ces failles sont globalement concentrées à l'ouest et au sud de l'aire d'étude éloignée du milieu physique.

Ce réseau de failles délimite une région très stable au sein de laquelle aucune structure majeure ni secondaire n'a été identifiée, et ce jusqu'à des profondeurs de 5-6 km. L'absence de toute structure tectonique identifiée a été l'un des critères permettant de délimiter la zone de transposition (ZT), d'environ 250 km² qui a été définie en 2005 comme la zone de faisabilité de principe du stockage géologique. Il s'agit d'une zone, exempte de faille majeure et secondaire présentant ainsi toutes les caractéristiques indispensables au confinement des radionucléides sur de grandes échelles de temps. Cette ZT a été délimitée à distance des failles et familles de failles avoisinantes citées plus haut. Ainsi, plus précisément :

- la limite sud-ouest de la ZT est à environ 8 km des failles de socle de la Marne et à 5 km des failles de couverture du fossé de Joinville ;
- la limite sud de la ZT se trouve entre 3 km et 5 km du faisceau « en queue de cheval » des failles de socle et de couverture de la zone dite de « fracturation diffuse » de moyenne dimension formant la prolongation méridionale des failles de la Marne ;
- la limite sud-est de la ZT à 1 km des failles de couverture du fossé de Gondrecourt-le-Château ;
- la limite nord de la ZT se situe à une quinzaine de kilomètres de la faille de Chonville.

Ainsi, aucune faille affectant la couche du Callovo-Oxfordien et plus largement la couverture sédimentaire n'a été mise en évidence sur la zone de transposition. Les failles de plus grandes tailles les plus proches sont situées hors de la zone de transposition.

D'autre part, aucun indice de déformation néotectonique (évènement tectonique survenu durant le Quaternaire) n'a été reconnu sur ces failles ni dans leur voisinage, ces dernières étant inactives depuis *a minima* 2,5 millions d'années, c'est-à-dire depuis le Quaternaire. Il est probable au vu de leur signature sismique qu'il n'y ait eu aucune déformation sur ces failles depuis la dernière grande phase tectonique distensive Oligocène, soit depuis les derniers 20 millions d'années.

RÉSEAU DE FAILLES LE PLUS PROCHE DU CENTRE DE STOCKAGE CIGÉO : LE FOSSE DE GONDRECOURT

Le fossé de Gondrecourt fait partie d'un ensemble de structures similaires contemporaines (fossés de Joinville, de Colombey-les-Belles, de Rémoville) affectant, sans les déformer, les terrains sédimentaires de la Lorraine centrale situés à l'intérieur d'une zone délimitée, au sud, par la faille de Vittel et, au nord, par l'axe du synclinal de Savonnières-en-Perthois. Leur formation est attribuée à la phase d'extension oligocène[12] synchrone de celle de la formation du fossé rhénan, soit entre 25 et 34 millions d'années (Bergerat *et al.,* 2007 (61), Pagel *et al.,* 2018 (62)).

Plus spécifiquement, le fossé de Gondrecourt, d'orientation nord-est/sud-ouest (N30°E) et d'une longueur totale d'environ 30 km entre Vacon (au nord-est) et Pautaines-Augéville en Haute-Marne (au sud-ouest) a fait l'objet d'une caractérisation statique et dynamique fine grâce à l'ensemble des campagnes de reconnaissance géologique (reconnaissance de terrain, forages Andra, Andra 2005) et géophysique (retraitement de profils pétroliers et acquisition de sismique réflexion 2D et 3D), qui ont été menées sur le secteur par l'Andra.

Il s'agit d'un fossé de couverture, c'est-à-dire qu'il ne s'enracine pas en profondeur dans le socle mais il s'amortit dans les formations du Trias et du Permien sous-jacentes (cf. Figure 4-4). Situé en bordure orientale de la zone de transposition (ZT), sa largeur est d'au maximum de 2 km et sa distance à la zone de transposition est de l'ordre de 1 km pour la faille bordière secondaire la plus à l'ouest et de l'ordre de 3 km pour la faille principale qui borde le fossé à l'est (cf. Figure 4-5). Les rejets (valeur du déplacement entre les deux compartiments d'une faille) le long de ce fossé ont pu être estimés grâce au retraitement et à l'interprétation des profils sismiques 2D qui les recoupent. La faille principale qui borde le fossé à l'est montre les rejets les plus importants. Ils diffèrent cependant du nord-est au sud-ouest. En partie nord-est, ils sont de l'ordre de 40 m à 50 m au niveau des encaissants (calcaires du Dogger et de l'Oxfordien) de la couche argileuse du Callovo-Oxfordien, et sont de l'ordre de 70 m à 80 m en partie sud-ouest au niveau de ces mêmes encaissants.

Aucun indice de déformation récente n'a été reconnu sur le fossé de Gondrecourt, ni dans son voisinage, ce dernier étant inactif depuis *a minima* deux millions d'années, c'est-à-dire depuis le quaternaire (base de données NEOPAL[13]). En regard de la signature sismique, aucune déformation n'aurait affecté ce dernier depuis la dernière grande phase tectonique distensive Oligocène, soit depuis les derniers 25 millions d'années (Pisapia *et al.*, 2017 (63)), ou du moins depuis les prémices de la phase alpine miocène il y a 18-20 millions d'années.

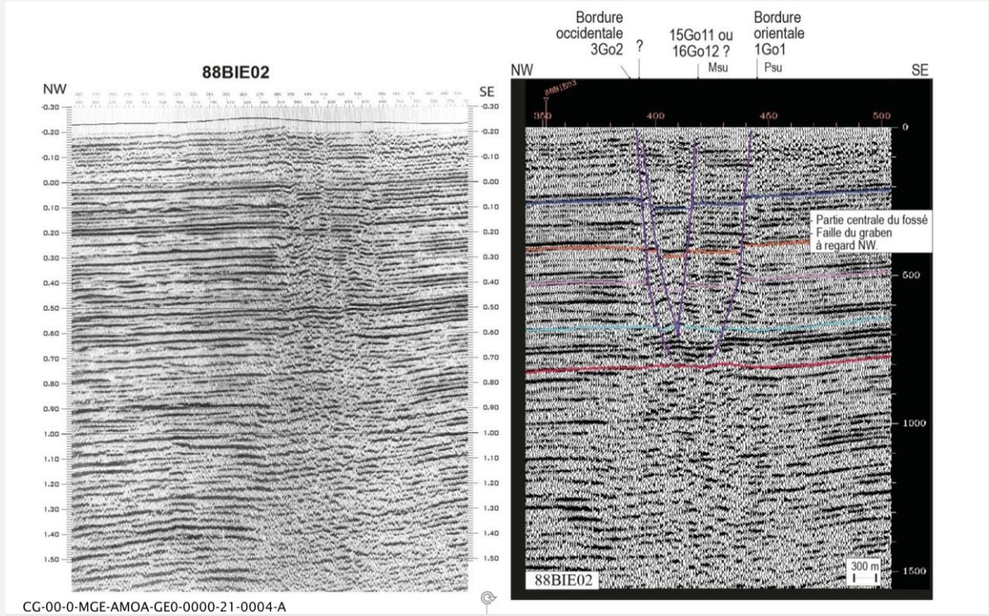


Figure 4-4 *Interprétation du profil pétrolier 88BIE02 montrant l'amortissement du fossé de Gondrecourt en profondeur au toit du Permien (cf. Figure 4-5 pour la localisation)*

[12] La phase de distension Oligocène est la phase distensive Oligocène qui s'étend durant le Tertiaire de -33 Ma à -23 Ma d'années environ et qui correspond à la tectonique en extension qui affecte la partie occidentale de la plate-forme européenne. Cette phase extensive de direction globalement est-ouest, engendrée par un ralentissement de l'expansion océanique en Atlantique nord-est à l'origine de la création et l'ouverture du rift ouest-européen. C'est un système de grabens intracontinentaux qui traverse de façon subméridienne l'Europe occidentale sur plus de 1 000 km.

[13] http://www.neopal.net/

4.2.3 Contexte tectonique de la zone d'Intérêt pour la recherche approfondie et de la zone d'Implantation des ouvrages souterrains

C'est au cœur de la zone de transposition, homogène et exempte de failles majeure et secondaire, qu'a été délimitée en 2009 la ZIRA, Zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie.

Le choix de la zone de transposition, d'environ 250 km², pour laquelle l'Andra a établi la faisabilité du stockage géologique dans la formation argileuse du Callovo-Oxfordien en 2005, repose notamment sur l'absence de faille majeure à secondaire, voire mineure, dans cette zone. La définition de la zone de transposition a donc exclu le fossé de Gondrecourt située à 2,5 km au sud-est et les failles de la Marne et celles de la zone de fracturation diffuse située à 6 - 7 km au sud-ouest. En 2009, après notamment une reconnaissance géologique par sismique 3D haute résolution, une instruction par l'ASN et l'IRSN (64) et un dialogue avec le territoire, le site d'implantation du centre de stockage Cigéo a été choisi au sein de la ZT : il s'agit de la ZIRA (zone d'intérêt pour une recherche approfondie) d'une superficie d'environ 30 km², positionnée de fait à distance de failles majeures à secondaires (cf. Figure 4-5)

La ZIRA qui s'étend sur environ 30 km^2 a ainsi fait l'objet d'une campagne sismique 3D haute résolution en 2009-2010. En regard du pouvoir de détection associé à cette méthode géophysique, il n'a pas été mis en évidence de faille dans les formations sédimentaires mésozoïques dont le rejet serait supérieur à deux mètres dans la couche du Callovo-Oxfordien et à quatre mètres dans les encaissants calcaires de l'Oxfordien et du Dogger à l'aplomb de la ZIRA.

Par ailleurs, aucun des forages profonds de reconnaissance du Callovo-Oxfordien autour du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (forages réalisés depuis la surface soit verticalement ou de manière oblique) n'a recoupé de structure tectonique. De même, à ce jour, la reconnaissance géologique réalisée systématiquement sur les quelques 2 km de galeries du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, soit une surface d'environ 10 hectares, n'a pas identifié de structure tectonique dans la couche du Callovo-Oxfordien et les formations sédimentaires l'encadrant.

4.2.4 Contexte tectonique de l'aire d'étude rapprochée

L'aire d'étude rapprochée intercepte dans sa partie sud-ouest quelques failles de la zone dite « de fracturation diffuse » et dans sa partie sud, le fossé de Gondrecourt. Ces failles sont à proximité ou peuvent concerner certaines portions des opérations d'alimentation électrique, d'adduction d'eau et de mise à niveau de la ligne ferroviaire 027000.

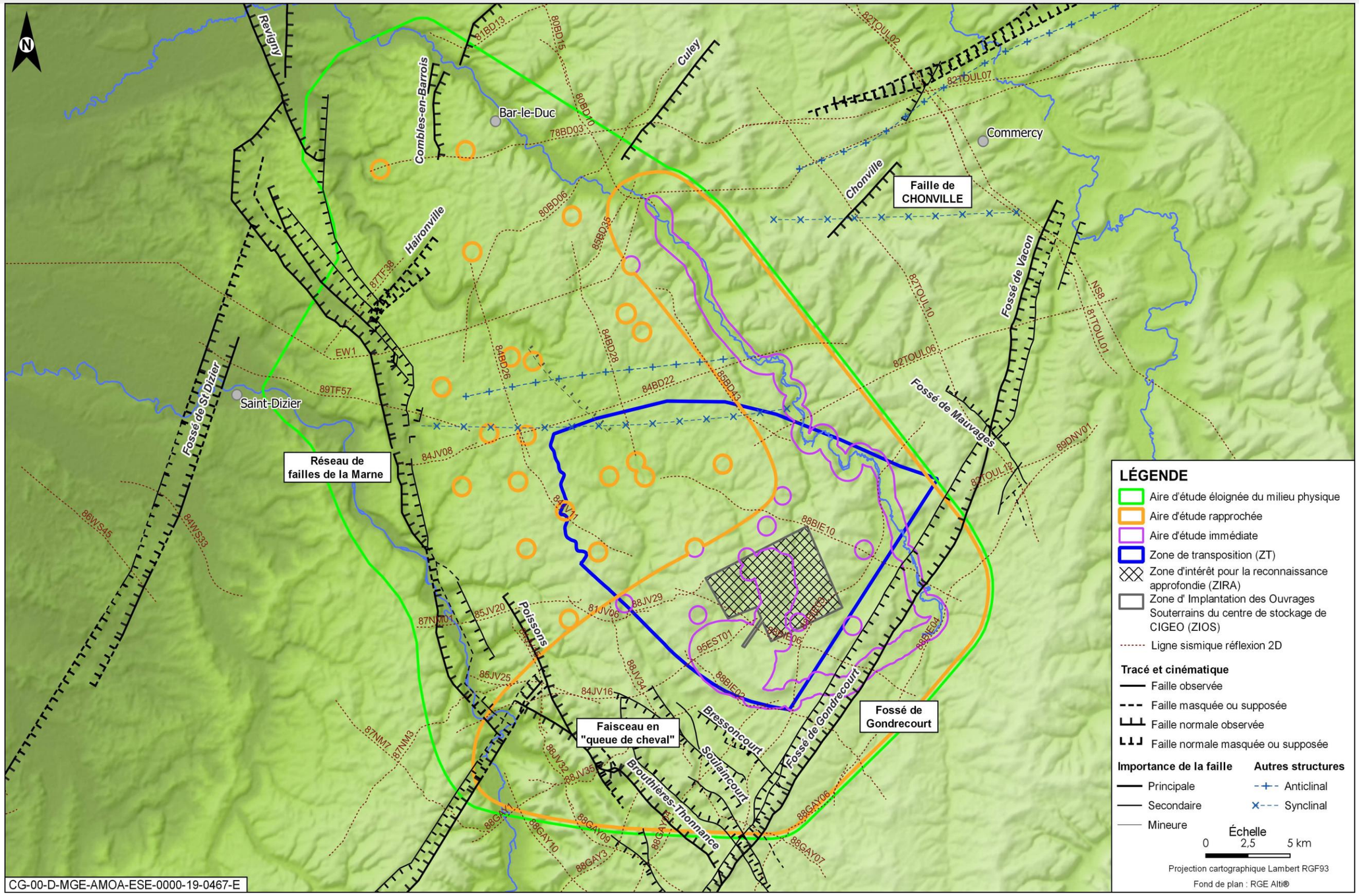


Figure 4-5 Contexte tectonique local

4.3 Stratigraphie

DÉFINITIONS

Les **sédiments** sont des particules de matières (fragments de roches, minéraux, matières organiques…) de tailles variables qui se déposent et s'accumulent après avoir été transportées généralement par le vent ou l'eau. Leurs origines peuvent provenir de l'érosion de roches plus anciennes, de transports de divers matériaux meubles ou fluides, ou être les résultats d'activités organiques diverses. Le sédiment peut être marin, fluviatile, lacustre, éolien ou glaciaire. Durant et après son dépôt, le sédiment peut être affecté par le phénomène de la **diagenèse**. La diagénèse est l'ensemble des processus physico-chimiques et biochimiques qui interviennent dans la transformation progressive d'un dépôt meuble de sédiments en **roches sédimentaires**, par compaction, déshydratation, augmentation de la pression, dissolution et recristallisation.

L'étude de l'agencement dans l'espace et dans le temps des couches ou strates géologiques est appelée la **stratigraphie**.

Pour dater les évènements intervenus durant la longue histoire de la Terre, de sa création à l'actuelle, on utilise une **échelle des temps géologiques**, aussi appelée « charte stratigraphique » standardisée à l'échelle internationale. Cette échelle fait correspondre des couches ou des ensembles de couches géologiques, à des intervalles de temps, dont les âges sont obtenus par les méthodes de datation absolue :

- la division de base est l'étage défini par rapport à un affleurement type, qui sert en quelque sorte d'étalon ;
- plusieurs étages forment une série ou une époque (par exemple, le Crétacé supérieur) ;
- plusieurs séries ou époques forment un système ou période (par exemple, le Crétacé) ;
- plusieurs systèmes ou périodes forment une ère (par exemple, le Mésozoïque).

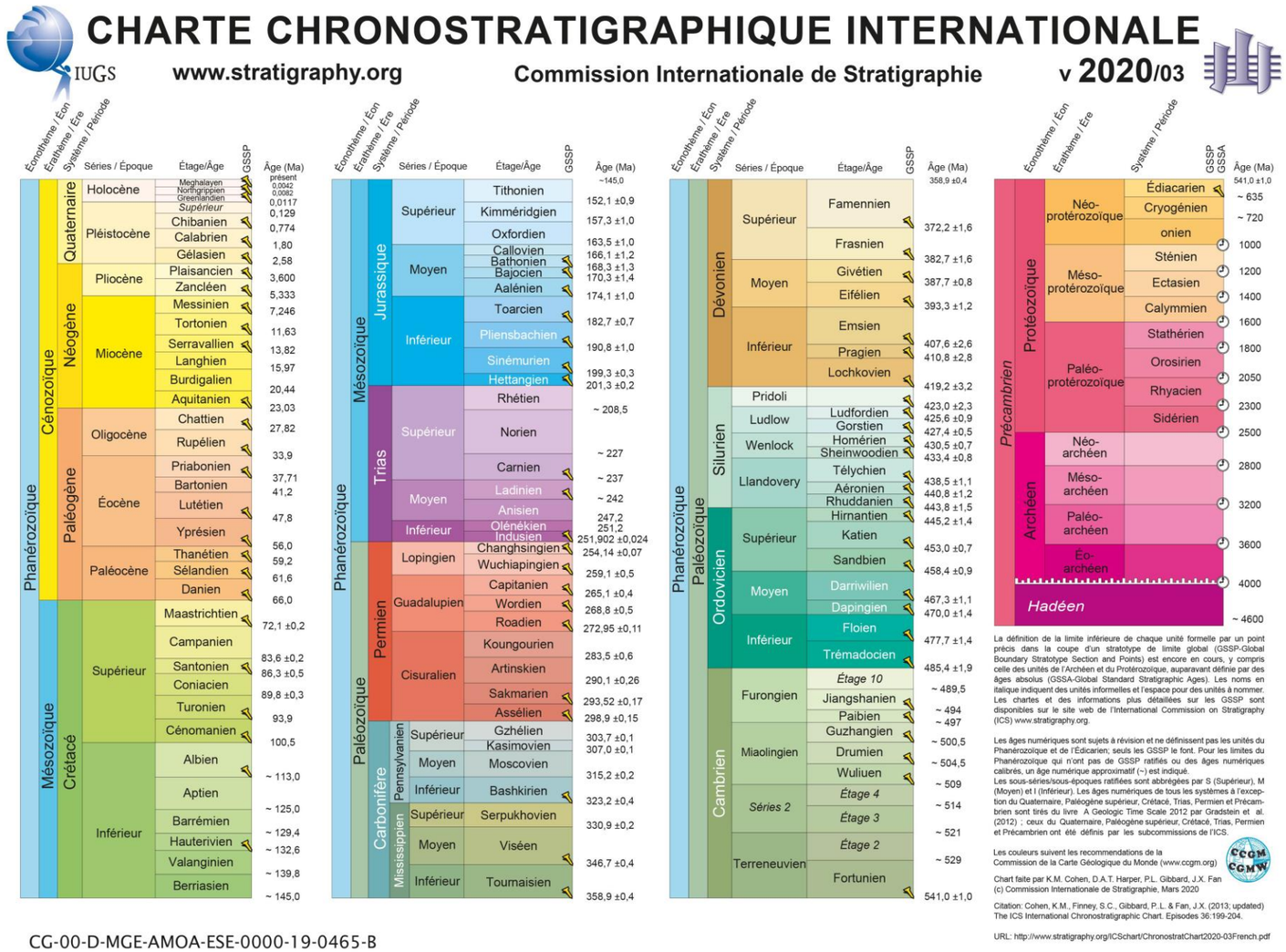


Figure 4-6 Chartre chronostratigraphique internationale

Le Bassin parisien est un bassin intracontinental Méso-cénozoïque d'environ 140 000 km², dont l'histoire sédimentaire débute à la fin du Paléozoïque (ère primaire). Situé sur la plaque ouest-européenne, le Bassin parisien se présente comme une vaste cuvette sub-arrondie, composée d'un empilement de couches sédimentaires dessinant en surface une succession d'auréoles concentriques, des plus vieilles en périphérie (Trias) aux plus récentes au centre du bassin (Tertiaire), où la série sédimentaire atteint une épaisseur de 3 200 mètres. La genèse et l'évolution du Bassin parisien ont été fortement influencées et contrôlées par les grands mouvements induits par la tectonique des plaques que sont successivement l'ouverture de la Téthys au Jurassique, celle de l'Atlantique au Jurassique et au Crétacé puis la collision pyrénéo-alpine qui s'initie dès le Crétacé supérieur et se poursuit pendant tout le Tertiaire, entrecoupé par la phase distensive oligocène. Chacun de ces évènements majeurs s'est traduit dans le Bassin parisien par des variations de la subsidence (enfoncement progressif, régulier ou saccadé du fond d'un bassin sédimentaire durant une assez longue période) dont le témoignage dans la série sédimentaire s'exprime par autant de cycles de variation du niveau des mers (transgression-régression).

L'ensemble des formations sédimentaires repose toutes sur le socle hercynien qui affleure largement au pourtour du bassin dans le massif des Ardennes au nord-est, le massif des Vosges à l'est, le Morvan et le massif du Massif central au sud et le Massif armoricain à l'ouest.

Le projet global Cigéo est localisé sur la bordure sud-est de ce Bassin parisien (cf. Figure 4-7). La structure générale de cette zone se présente comme une succession de couches sédimentaires à dominante argileuse et calcaire. Ces formations, portées aujourd'hui à l'affleurement par le décapage par érosion des couches sus-jacentes, se sont déposées entre 250 millions et 135 millions d'années avant l'ère actuelle et sont caractérisées par un paysage de cuestas où les contrastes lithologiques entre les formations argileuses et calcaires affleurant avec un faible pendage créent un relief typique de côtes.

Les couches géologiques qui affleurent à la surface de l'aire d'étude éloignée sont généralement à dominante argileuse et calcaire d'âge Jurassique, avec la présence très ponctuelle et locale de quelques niveaux sableux d'âge crétacé inférieur comme en forêt de Montier par exemple. Elles sont épaisses d'environ 1 800 mètres et présentent une pente monoclinale régulière de 1 degré à 1,5 degrés vers le nord-ouest (appelée pendage), en direction du centre du Bassin parisien.

Les formations géologiques présentes dans l'aire d'étude éloignée sont décrites ci-après au chapitre 4.3.2 du présent volume, de la surface vers la profondeur (cf. Figure 4-9).

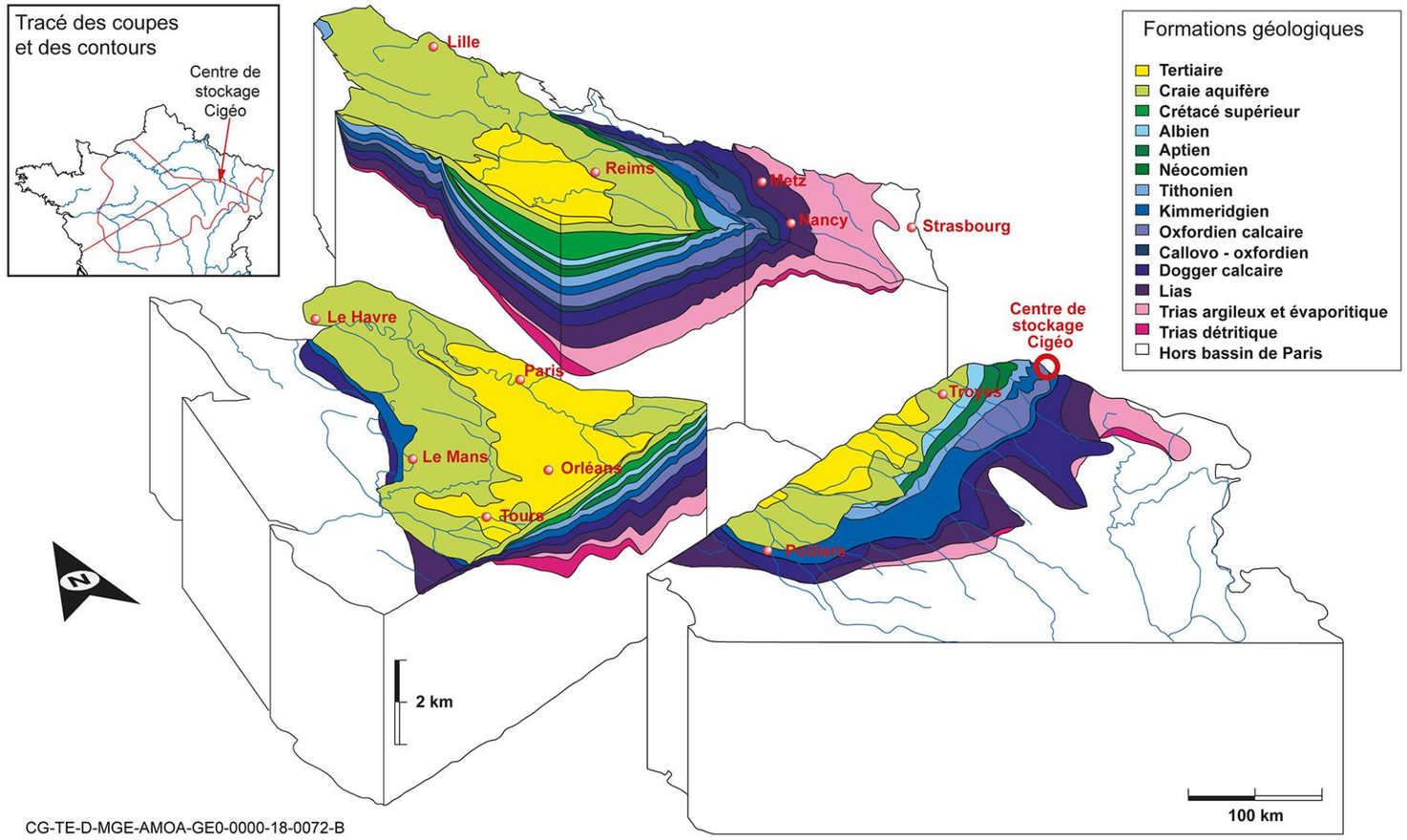


Figure 4-7 *Bloc diagramme géologique du Bassin parisien*

4.3.1 Formations affleurantes le long de la ligne électrique 400 kV

Du fait de sa longueur de l'ordre de 124 kilomètres, le linéaire de la ligne à 400 kV Houdreville – Méry, traverse des environnements et formations géologiques à l'affleurement de natures variées, recouvrant principalement les formations du Crétacé et du Jurassique qui constituent les bordures extérieures et périphériques du Bassin parisien (organisation en auréoles concentriques liée aux contrastes lithologiques des roches du Bassin parisien).

Ces formations correspondent d'est (Meuse) en ouest (Marne) à celles du Lias (Jurassique inférieur) à connotation marneuse auxquelles succèdent celles plus calcaires du Dogger (Bajocien, Bathonien...) qui constituent les reliefs de côtes et les plateaux de revers.

Plus à l'ouest apparaissent les formations marneuses et marno-calcaire du Jurassique supérieur (Kimméridgien, Oxfordien) à l'origine ensuite des côtes (côtes des bars dans les calcaires du barrois) et revers de plateau.

Enfin, sur une large portion occidentale du tronçon, l'ouvrage s'inscrit largement au sein des formations du Crétacé pour traverser d'est en ouest tout d'abord les formations tendres, marneuses, sableuses et argileuses du Crétacé inférieur (Champagne humide), relayées plus à l'ouest par les formations crayeuses du Crétacé supérieur de la Champagne sèche ou dite pouilleuse.

La figure 4-8 permet d'appréhender l'ensemble des formations présentent le long de la ligne électrique 400 kV.

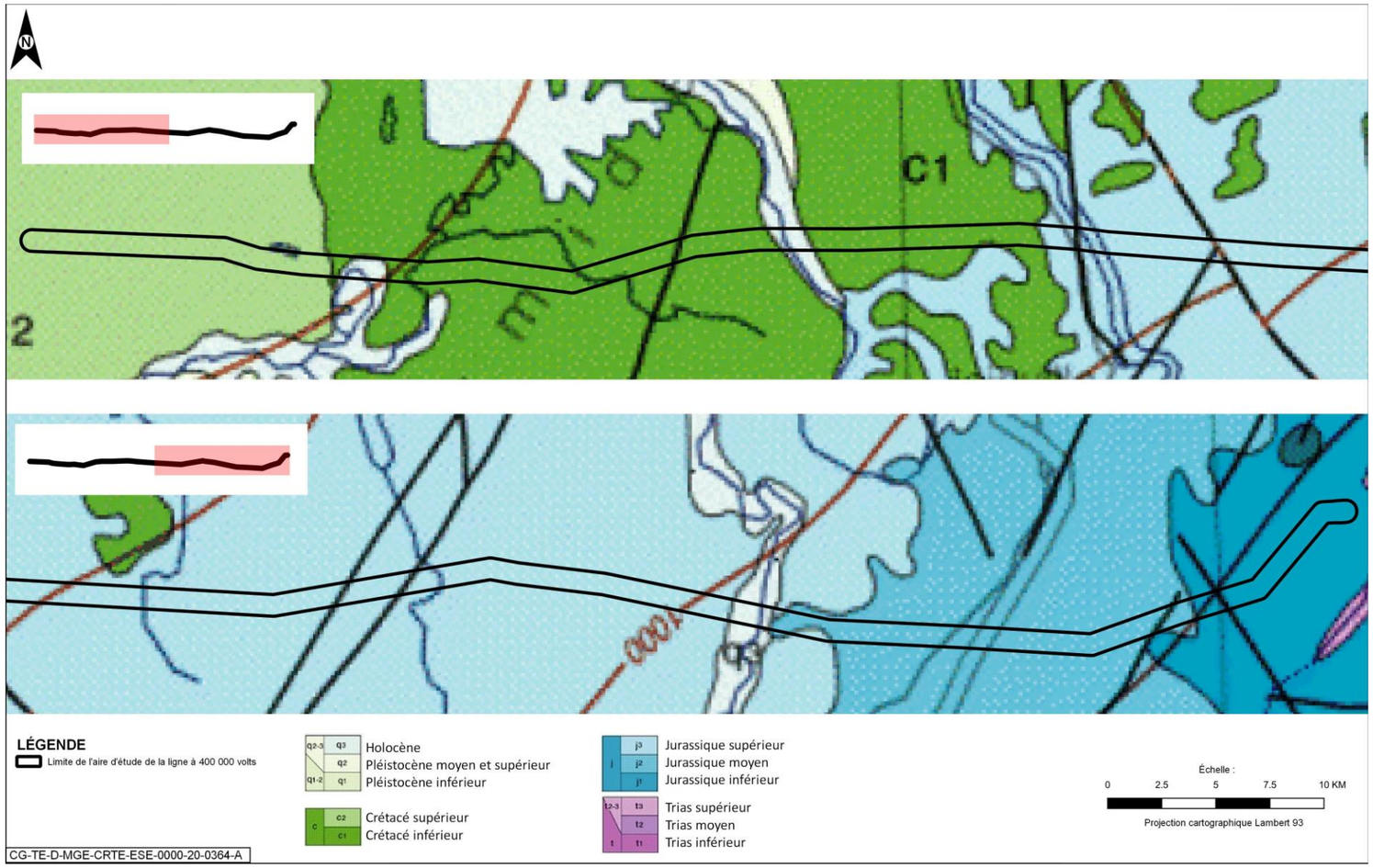


Figure 4-8 Carte géologique simplifiée le long de la ligne électrique 400 kV

4.3.2 Stratigraphie dans l'aire d'étude éloignée

La succession des formations géologiques présentes dans l'aire d'étude éloignée du milieu physique sont décrites sur la figure 4-9. Leur présence à l'affleurement sont présentées sur la figure 4-10.

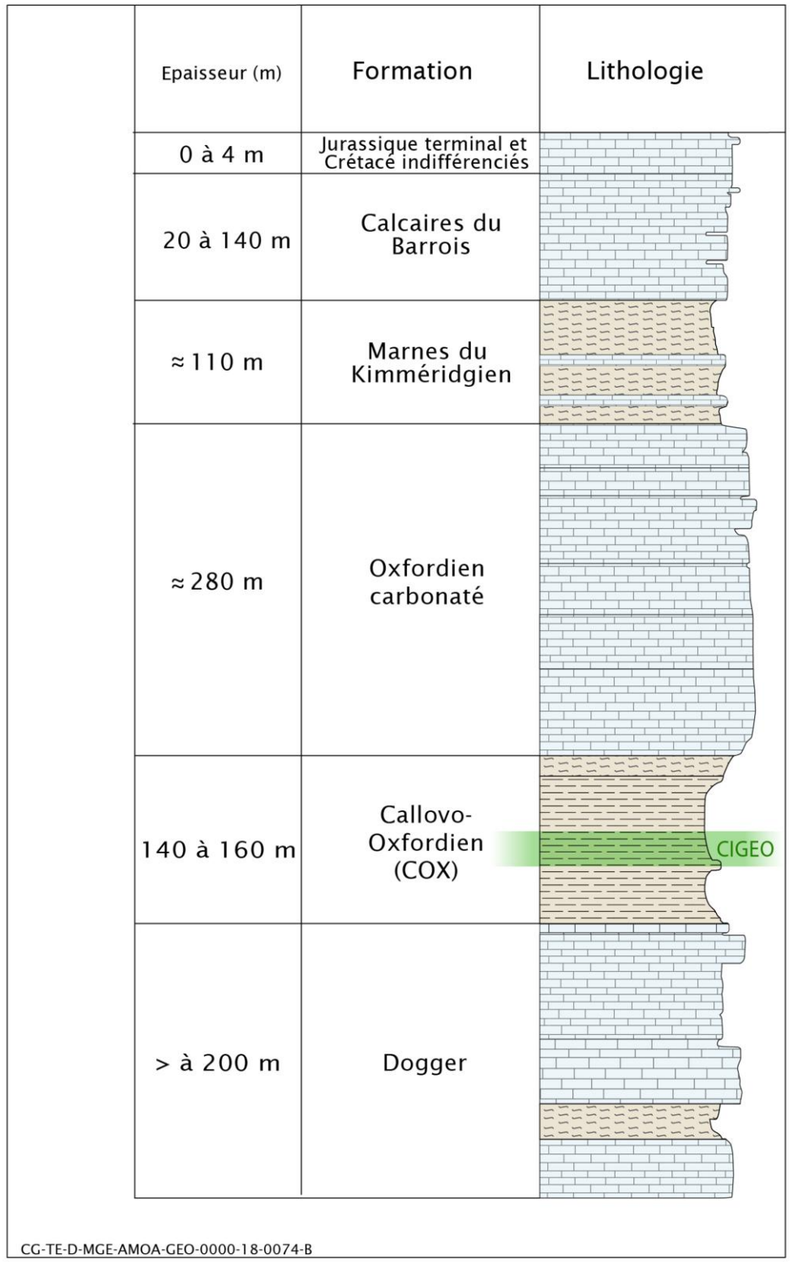


Figure 4-9 Succession schématique des formations géologiques de l'aire d'étude éloignée

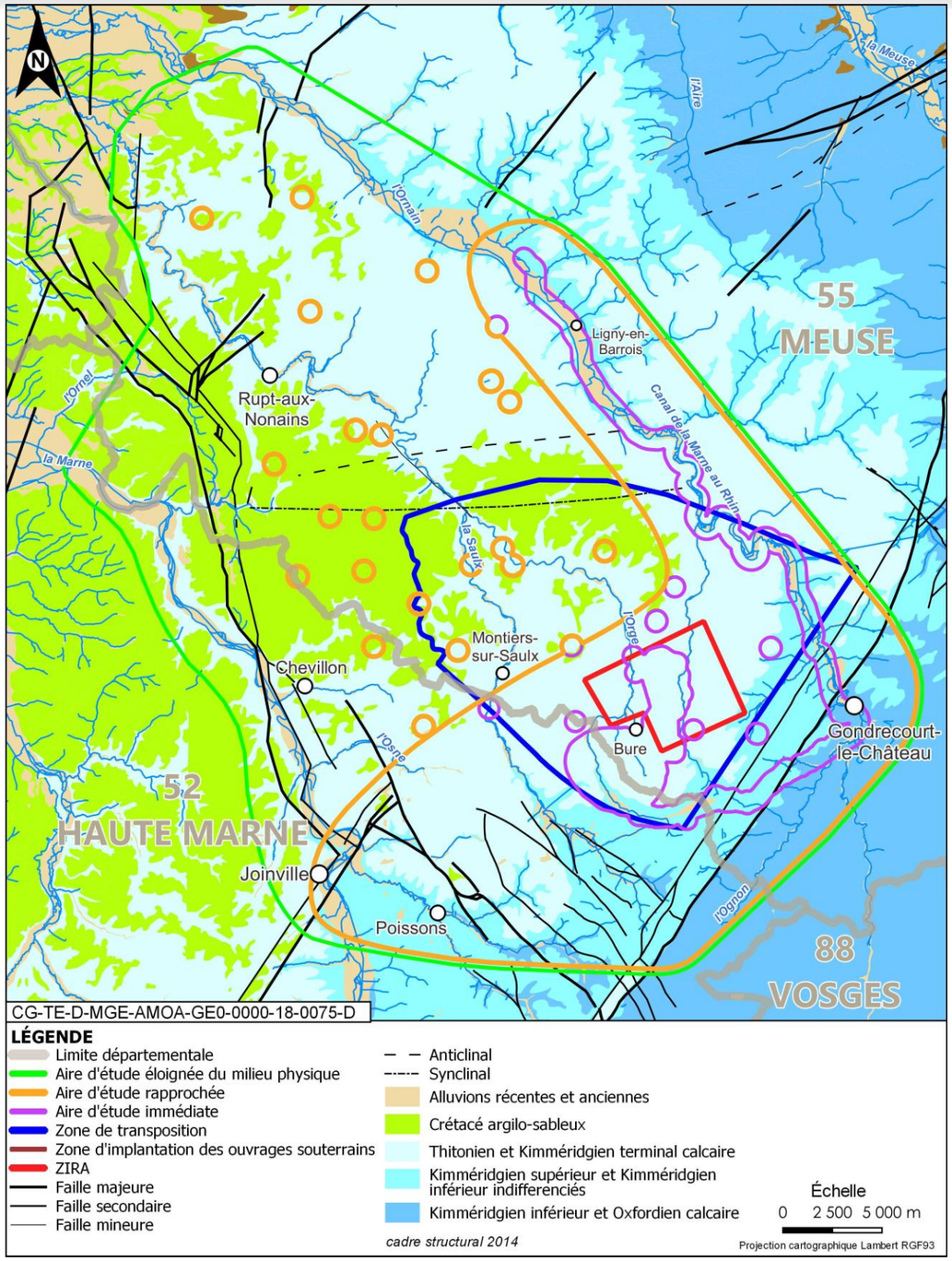


Figure 4-10 Carte géologique simplifiée de l'aire d'étude éloignée

Le log stratigraphique décrivant la succession des formations géologiques présentes sur l'aire d'étude éloignée (cf. Figure 4-9) présente les dénominations locales de ces formations géologiques, utilisées également dans la description du projet global Cigéo. Ces dernières ne sont pas reprises dans la carte géologique décrivant les formations géologiques à une échelle plus régionale (cf. Figure 4-10) et calée sur la charte stratigraphique globale (cf. Figure 4-6). La correspondance des formations géologiques pour ces deux figures est présentée dans le tableau 4-1.

Tableau 4-1 *Correspondance des formations géologiques aux dénominations locales présentes dans la représentation schématique des formations géologiques et les formations géologiques à l'affleurement présentées sur la carte géologique*

Carte	Log
Alluvions récentes et anciennes	Pas indiquées sur le log
Crétacé argilo-sableux	Jurassique terminal et Crétacé indifférenciés pour partie
Tithonien et Kimméridgien terminal calcaire	Calcaires du Barrois
Kimméridgien sup. et inf. indifférenciés	Marnes du Kimméridgien
Kimméridgien inférieur et Oxfordien calcaire	Partie supérieure de l'Oxfordien calcaire

Ces formations géologiques sont présentées dans les chapitres suivants.

4.3.2.1 Formations quaternaires

» DÉFINITION

Les **formations quaternaires** sont les dépôts sédimentaires de l'aire quaternaire. Datés de moins de 2 millions d'années, ce sont des sédiments meubles qui n'ont pas subi de diagénèse. Ceux déplacés par les rivières sont appelés **alluvions**. Ceux déplacés par le vent sont appelés **lœss**. Ceux déplacés par les forces de gravité suite à la fragilisation de la roche du fait notamment des conditions météorologiques sont appelées **colluvions**.

Les origines très variables des formations quaternaires entraînent une forte variabilité de leur constitution, de leur épaisseur et de leur localisation.

Dans l'aire d'étude rapprochée du milieu physique, des alluvions sont présentes dans la vallée de l'Ornain le long de la ligne ferroviaire 027000. Elles reposent sur les formations du Kimméridgien. Les alluvions récentes sont argilo-sableuses et peu épaisses. Les alluvions anciennes sont constituées de graviers calcaires et ne dépassent pas quatre mètres.

4.3.2.2 Jurassique terminal et Crétacé indifférencié

Cette formation de faible épaisseur (15 m à 20 m au maximum) constitue la base du Valanginien (Crétacé inférieur). Elle présente un faciès sablo-gréseux et ferrugineux.

Elle est plus représentée en direction de l'ouest, vers le centre du Bassin parisien. Dans l'aire d'étude rapprochée du milieu physique, elle n'est présente que ponctuellement sur les points les plus élevés de la topographie et a été érodée partout ailleurs. Elle est présente ponctuellement au niveau de la butte du Chaufour, du bois Lejuc et de la forêt de Montiers et dans la partie centre-ouest de l'aire d'étude éloignée de la thématique du milieu physique (forêt de Morley, bois de Stainville.

4.3.2.3 Calcaires du Barrois

Les Calcaires du Barrois sont une formation du Jurassique supérieur (Tithonien-Kimméridgien supérieur). La formation plonge vers le nord-nord-ouest avec un pendage moyen de l'ordre du degré localement perturbé par des ondulations (synclinal de Savonnières par exemple). Du fait que cette formation soit affleurante, son épaisseur est variable en fonction de sa localisation et de la topographie. Ainsi, la profondeur moyenne du mur des calcaires du Barrois (la base) au niveau du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne qui est de l'ordre de la vingtaine de mètres s'approfondit vers le nord-nord-ouest pour atteindre 130-140 m au nord-ouest de la ZIRA, et 160-170 m au nord-ouest de la ZT.

La formation, constituée de cinq niveaux lithologiques carbonatés distincts, lorsqu'elle est complète, peut avoir une épaisseur totale maximale de l'ordre de 140 mètres constitués de haut en bas par :

- les calcaires cariés, tachetés et tubuleux d'épaisseur moyenne de 35 mètres présentent une très faible variabilité spatiale de composition et d'épaisseur ;
- l'Oolithe de Bure épaisse d'environ deux mètres est constituée d'un calcaire oolithique cimenté ;
- les Calcaires de Dommartin, d'une épaisseur variant de 60 m à 65 m sont constitués de calcaires argileux, dolomitiques et bioclastiques se terminant par des calcaires sub-lithographiques caverneux ;
- la Pierre Châline épaisse d'environ 10-15 mètres est formée d'une alternance de niveaux coquilliers, de calcaires à foraminifères et débris de coquilles, de calcaires micritiques et de marnes. De par sa nature, elle peut être imperméable ou semi-perméable ;
- les Calcaires sublithographiques, épais de 20-25 m environ sont constitués de calcaires micritiques homogènes à inter bancs marneux fins et de rares niveaux bioclastiques peu épais.

Ces niveaux lithologiques présentent une très faible variabilité spatiale de composition et d'épaisseur.

Cette formation forme un large plateau calcaire qui affleure sur la majeure partie des zones d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo.

Ces niveaux sont affectés par des phénomènes de fracturation et de karstification (processus d'altération de la roche calcaire par dissolution lors des infiltrations d'eau pouvant conduire à la formation de fissures voire de cavités) qui vont conditionner et contrôler la circulation des eaux souterraines (dynamique locale des écoulements, direction, vitesse, positionnement des exutoires et résurgences karstiques, etc.).

» DÉFINITION

La **karstification** est un processus d'altération de la roche calcaire par dissolution lors des infiltrations d'eau. Ces infiltrations peuvent créer des marques d'altération le long des fissures, ou ouvrir des fissures jusqu'à former des cavités. Ces cavités peuvent être connectées en réseaux pour les karsts les plus développés.

Au sein de l'aire d'étude éloignée du milieu physique, les phénomènes de karstification se développent progressivement vers le nord-nord-ouest. Les Calcaires du Barrois, présents dans l'aire d'étude rapprochée, sont ainsi peu karstifiés et se caractérisent par la présence de fractures mineures millimétriques à centimétriques associées à des marques d'altération, jusqu'à des profondeurs de 15-20 mètres sous la surface. Ces fractures sont liées à la fracturation de la roche par mécanismes de gélifraction (fragmentation d'une roche sous l'effet du gel) pouvant être accentuées ensuite par les phénomènes de dissolution liés au phénomène de karstification.

4.3.2.4 Marnes du Kimméridgien

Les marnes du Kimméridgien se sont déposées il y a environ 150 millions d'années. Au niveau de la zone puits et des installations souterraines, l'épaisseur totale des marnes du Kimméridgien est d'environ 110 mètres.

Cette formation affleure sous la plateforme ferroviaire de l'ancienne voie ferrée qui sera reprise par l'installation terminale embranchée (ITE) (au sud de l'aire d'étude rapprochée du milieu physique) et localement dans les vallées de l'Orge, de l'Ornain, de la Saulx et de l'Ormançon En progressant vers le nord-ouest cette formation s'enfonce sous les calcaires du Barrois.

Cette formation se caractérise par la superposition très régulière de trois niveaux argilo-marneux de quelques dizaines de mètres d'épaisseur chacun, séparés par deux bancs de « Calcaires blancs » de 10 m à 15 m d'épaisseur. Quelques niveaux calcaires d'épaisseur métrique sont intercalés au sein des argiles et des marnes. Un des bancs calcaires est probablement aquifère.

4.3.2.5 Oxfordien carbonaté

L'Oxfordien carbonaté correspond au développement d'une plateforme carbonatée unique, qui s'étend de l'Oxfordien moyen au Kimméridgien inférieur. L'épaisseur de cette formation augmente faiblement d'est en ouest sur la zone de transposition (de 275 m à 335 m). Autour du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, cette formation a une épaisseur moyenne de 280 mètres. Seule la partie supérieure de cet ensemble est présente à l'affleurement sous la partie est de l'ITE et la portion de la ligne ferroviaire 027000 à Gondrecourt-le-Château.

Les calcaires de l'Oxfordien se caractérisent par des variations de faciès liées à des changements d'environnement tant verticalement que latéralement. La transition entre le Callovo-Oxfordien et la plateforme carbonatée est progressive et s'exprime par des faciès argilo-marneux légèrement bioclastiques (contenant des éléments fossiles) sur une vingtaine de mètres. Cette formation appelée localement « Marnes à coraux de Foug » possède des caractéristiques très proches du sommet du Callovo-Oxfordien mais elle est variable latéralement. De la distribution de ces caractéristiques découlent ces propriétés hydrodynamiques avec la présence de plusieurs niveaux perméables définis comme des horizons poreux.

Les différentes données directes et indirectes collectées montrent que les caractéristiques de l'Oxfordien calcaire au niveau de la ZIRA sont globalement équivalentes à celles déterminées au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. La constitution de cette formation de la base vers le sommet haut peut-être résumée ainsi :

- les 20 premiers mètres de l'Oxfordien calcaire sont constitués d'une alternance de marnes, de calcaires argileux aux caractéristiques très proches des faciès de la partie supérieure du Callovo-Oxfordien précédente ;
- l'unité sus-jacente, d'une centaine de mètres d'épaisseur, regroupe des faciès fins de lagon poreux et perméables et des calcaires très peu poreux, présentant une faible connectivité et donc une faible productivité. À l'aplomb du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, ces faciès de lagon s'organisent en quatre niveaux poreux discontinus (Hp1 à Hp4) qui atteignent une épaisseur cumulée de près de 80 mètres. La faible connectivité de ces niveaux expliquerait leur faible productivité. D'après les forages et les affleurements, ces faciès de lagon sont présents dans toute la partie est et nord-est de la zone de transposition ;
- les 100 mètres suivants montrent une succession de bancs d'une série marneuse semi-perméable intercalés entre des niveaux de calcaires oolithiques. Au sommet de chacun de ces niveaux calcaires correspond un niveau plus poreux et perméable. Plusieurs niveaux d'aquifères sont présents qui sont hydrauliquement connectés ou indépendants en fonction de la présence ou non et de l'épaisseur de la série marneuse (ou série grise) qui s'intercale entre ces aquifères. Au total, trois niveaux aquifères (Hp5 à Hp7) d'épaisseur comprise entre 5 m et 10 m et de perméabilité moyenne autour de 10^{-7} m/s ont été reconnus. Au niveau du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, les perturbations provoquées par le drainage des puits montrent que les ensembles Hp1 à Hp4, Hp5 et Hp6 à 7 sont hydrauliquement indépendants. Dans la partie est et nord-est, la série marneuse s'exprime en bancs de plus en plus épais et crée une séparation nette entre les niveaux aquifères inférieurs (Hp1 à Hp4) et supérieurs (Hp5 à Hp7) de l'Oxfordien. La continuité de la série grise entre l'est et le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne étant assurée, les transferts possibles entre les horizons poreux inférieurs et supérieurs et entre chaque horizon Hp5 à Hp7 devraient être limités sur la ZIRA. Dans la partie sud-ouest de la ZT, l'épaisseur négligeable ou l'absence de ce semi-perméable fait que l'ensemble des formations de l'Oxfordien calcaire y compris les horizons poreux ne forme qu'une seule nappe avec globalement un seul champ d'écoulement ;
- les derniers 30 mètres sont constitués de calcaires peu poreux et de faibles perméabilités.

4.3.2.6 Callovo-Oxfordien (Cox)

Le Callovo-Oxfordien dénommé « Cox » est la couche géologique au sein de laquelle sera implantée l'installation souterraine du centre de stockage Cigéo. Cette couche sédimentaire n'affleure pas dans l'aire d'étude éloignée du milieu physique. D'âge Jurassique (environ 160 millions d'années), cette formation regroupe le Callovien, dernier étage de la série géologique du Dogger, et la partie inférieure de l'Oxfordien, premier étage de la série du Malm et constitue l'appellation, propre à l'Andra : « le Callovo-Oxfordien ».



Figure 4-11 Argilites du Callovo-Oxfordien

4.3.2.6.1 Caractéristiques géométriques du Callovo-Oxfordien

Les limites géométriques de la couche ont été caractérisées précisément grâce aux nombreux forages et lignes sismiques 2D et 3D réalisés depuis la surface et grâce aux travaux dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (cf. Chapitre 4 du volume VII de la présente étude d'impact). L'ensemble des données acquises ont été ensuite retranscrites dans un modèle géométrique en 3D.

L'épaisseur du Callovo-Oxfordien augmente du sud-ouest vers le nord-est en relation avec la principale zone d'apport des sédiments localisée plus au nord-est :

- sur la ZT (zone de transposition), elle est comprise entre 130 mètres (sud-ouest) et 162 mètres (nord-est) ;
- dans la ZIRA, elle varie de 142 mètres (sud-ouest) à 162 mètres (nord-est) ;
- dans la ZIOS, l'épaisseur de la couche varie d'environ 136 mètres au niveau de la descenderie à environ 162 mètres au nord-est de la ZIRA.

Sa profondeur augmente vers le nord-ouest avec un pendage de 1° en moyenne conformément à l'ensemble de la pile sédimentaire dans ce secteur du Bassin parisien :

- sur la zone de transposition, le sommet de la couche est situé entre 340 mètres (sud-est) et 550 mètres (nord-est) de profondeur avec respectivement une profondeur de la base entre 470 m et 700 m ;
- dans la ZIRA, le sommet de la couche est situé entre 340 mètres (sud-est) et 532 mètres (nord-ouest) de profondeur avec respectivement une base entre 500 m et 675 m. Le milieu de la couche est entre 420 m et 604 m de profondeur ;
- sous la zone puits, le sommet est attendu entre 443 m et 594 m de profondeur.

Sur la ZT et dans la ZIRA, la couche du Callovo-Oxfordien ne présente aucune déformation de quelque ordre et nature que ce soit (telles que des failles majeures et secondaires, des flexures…).

4.3.2.6.2 Composition et propriétés du Callovo-Oxfordien

Les nombreuses mesures en forages, les analyses en laboratoire sur les échantillons extraits des forages et les expérimentations menées au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (cf. Chapitre 4 du volume VII de la présente étude d'impact) ont permis d'obtenir un niveau de description très élevé des propriétés du Callovo-Oxfordien que ce soit vis-à-vis de sa nature (composition chimique, minéralogique, structuration interne…) ou de ses propriétés en lien avec le centre de stockage Cigéo (propriétés d'interactions avec les éléments chimiques et radioactifs, propriétés de migration de l'eau et les éléments chimiques et radioactifs, géochimie, caractéristiques géomécaniques…). Associé aux mesures sismiques Haute-Résolution, un modèle 3D permet de représenter pour la ZIRA, les principales propriétés du Callovo-Oxfordien dans l'espace. Les propriétés majeures du Callovo-Oxfordien sont résumées dans les chapitres ci-dessous. Il est important de mentionner que les propriétés de la couche ont fait l'objet de nombreux documents scientifiques et techniques dont beaucoup ont été publiés dans des revues scientifiques internationales.

La description lithologique de la couche du Callovo-Oxfordien est continue latéralement sur de grandes distances et s'explique par l'origine des sédiments qui la compose et le contexte tectonique et sédimentaire calme de leur dépôt, il y a environ 160 millions d'années. Les sédiments se sont déposés sous une profondeur d'eau de l'ordre de la centaine de mètres dans un milieu marin ouvert et calme ; les zones émergées les plus proches, constituant les sources d'apports en sédiments, se situaient dans le massif « Londres-Brabant », correspondant aux actuelles Ardennes. L'éloignement de ces sources d'apport explique la granulométrie fine des constituants minéralogiques comme les argiles constituant la couche du Callovo-Oxfordien, d'où sa dénomination commune d'« *argilites* ».

Les argilites du Callovo-Oxfordien ont fait l'objet de nombreuses analyses minéralogiques et géochimiques menées depuis plus de 20 ans, et publiées pour beaucoup dans des revues scientifiques (Gaucher *et al.,* 2004 (65) ; Belcourt, 2009 (66) ; Marty *et al.,* 2018 (67)).

Les argilites de l'unité argileuse du Callovo-Oxfordien sont composées en masse à environ 95 % de minéraux primaires : ~40 % de minéraux argileux, muscovite et biotite ; ~30 % de carbonates, principalement de la calcite ; et ~25 % de tectosilicates (quartz et feldspaths).

Les autres minéraux présents dans les argilites (environ 5 %) sont principalement des sulfures, dont de la pyrite et de la matière organique. La pyrite (FeS_2) est présente dans toute la formation avec des teneurs en moyenne de 1 % et localement jusqu'à 3 %. Les autres sulfures identifiés sont la sphalérite (sulfure de zinc) et la chalcopyrite (sulfure de fer et de cuivre). La matière organique est présente naturellement avec des teneurs comprises entre 0,5 % et 2 %. La présence de sulfures et de matières organiques sont révélatrices des conditions anoxiques et réductrices au sein de la couche du Callovo-Oxfordien.

Les analyses chimiques réalisées sur de nombreux échantillons indiquent que les argilites du Callovo-Oxfordien contiennent relativement peu d'éléments toxiques (tels que le cadmium, le nickel, l'arsenic, l'uranium… - cf. Tableau 4-2), en comparaison avec des déblais miniers par exemple. Les ordres de grandeur des teneurs pour ces éléments chimiques dans le Callovo-Oxfordien sont similaires au fond géochimique des sols calcaires rencontrés sur le territoire d'implantation du centre de stockage Cigéo.

Le tableau 4-2 indique la composition chimique moyenne des argilites du Callovo-Oxfordien.

Dans l'épaisseur de la couche, les proportions des principales phases minérales (argiles, carbonates et quartz) sont représentatives des variations des niveaux bathymétriques (hauteur d'eau) au moment du dépôt du sédiment. Ces variations couplées à l'enfouissement du Callovo-Oxfordien par le passé sont les principales causes des variations de ses propriétés. L'analyse de la variabilité des propriétés physiques mesurées en forages et sur échantillons permet de représenter le Callovo-Oxfordien en trois grandes unités géologiques qui sont de bas en haut (cf. Figure 4-12) :

- l'unité argileuse (UA) la plus épaisse (100 m à 120 m environ), la plus homogène et la plus riche en minéraux argileux (plus de 40 % en moyenne). Elle représente environ les 2/3 inférieurs de la couche du Callovo-Oxfordien. Elle peut être scindée en trois sous-unités aux variations ténues et progressives. La sous-unité UA2 correspond au niveau stratigraphique où la teneur en argile est la plus élevée et dans laquelle les différentes expérimentations du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ont lieu ;
- l'unité de transition (UT). Elle constitue le terme de passage entre l'UA et l'unité silto-carbonatée (USC) aux teneurs en carbonates les plus élevées (de 40 % à 90 %) ;
- l'unité silto-carbonatée (USC), de 20 m à 30 m d'épaisseur, avec une importante variabilité pétro-physique verticale liée aux alternances lithologiques (marnes et niveaux carbonatées). Elle représente des niveaux dont la composition minéralogique est plus contrastée et hétérogène. L'enrichissement progressif en carbonates dans cette unité marque l'installation de la plateforme carbonatée de l'Oxfordien supérieur.

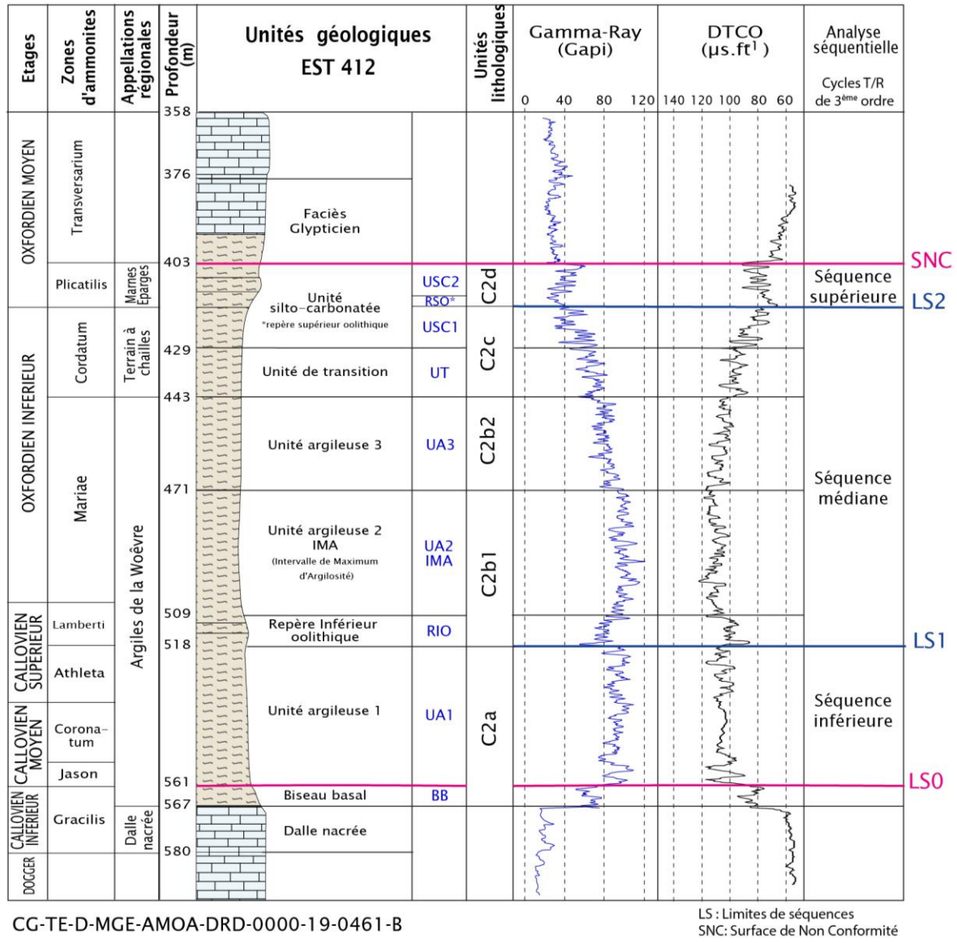


Figure 4-12 *Unités géologiques représentatives du Callovo-Oxfordien : unité argileuse (UA), unité de transition (UT) et unité silto-carbonatée (USC). Les limites géologiques du Callovo-Oxfordien sont données par les surfaces stratigraphiques LS0 et SNC*

Tableau 4-2 Composition chimique (moyenne ± écart-type) des argilites de la couche géologique du Callovo-Oxfordien

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	MnO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	P_2O_5
unité	*%*	*%*	*%*	*%*	*%*	*%*	*%*	*%*	*%*	*%*
Moy. ± ET	44,8 ± 6,5	11,1 ± 2,9	4,1 ± 1,0	2,3 ± 0,3	0,03 ± 0,01	15,0 ± 5,6	0,3 ± 0,1	2,7 ± 0,6	0,6 ± 0,1	0,1 ± 0,1
	S	As*	Ag	B	Ba	Be*	Bi*	Cd*	Ce	Co
unité	*%*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*
Moy. ± ET	0,8 ± 0,3	11 ± 3	<0,2	110 ± 34	196 ± 48	1,9 ± 0,5	0,18 ± 0 08	0,21 ± 0,11	56 ± 13	13 ± 4
	Cr	Cu	La	Li	Mo*	Nb*	Ni	Pb*	Sb*	Sc*
unité	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*
Moy. ± ET	87 ± 20	15 ± 5	32 ± 4	56 ± 25	0,5 ± 0,2	13 ± 3	40 ± 12	14 ± 4	0,5 ± 0,1	13 ± 1
	Se*	Sn*	Sr	U	V	W*	Y*	Zn	Zr	
unité	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	*mg/kg*	
Moy. ± ET	0,58 ± 0,03	2,4 ± 0,5	386 ± 196	2,0 ± 0,5	104 ± 30	1,1 ± 0,6	20 ± 3	92 ± 39	156 ± 34	

* Éléments traces dont les concentrations moyennes ont été calculées avec un nombre d'échantillons plus faible analysés avec une méthode plus précise que les autres données disponibles.

Compte-tenu de la composition minéralogique du Callovo-Oxfordien, le terme d'argilite, roche argileuse sédimentaire indurée composée de particules d'une taille inférieure à deux microns est utilisé (minéraux argileux accompagnés souvent de quartz très fin).

Latéralement, la couche du Callovo-Oxfordien présente globalement cette même organisation sur une zone de plus de 350 km² selon les résultats des forages réalisés dans un rayon de 15 km autour du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. La variabilité minéralogique verticale est ainsi peu marquée latéralement pour une même profondeur relative dans le Callovo-Oxfordien. Cette constance témoigne d'un environnement de dépôt calme et stable du point de vue tectonique et sédimentaire.

Comparativement à d'autres formations géologiques, les constituants du Callovo-Oxfordien et leur structuration lui confèrent des propriétés intrinsèques particulièrement importantes pour retarder la migration des éléments chimiques et radioactifs. Ces propriétés sont présentées au chapitre 4.3.2.1 du volume IV de la présente étude d'impact.

4.3.2.6.3 Lixiviation et potentiel acidogène des argilites du Callovo-Oxfordien

Les argilites excavées de la couche du Callovo-Oxfordien lors du creusement des installations souterraines du centre de stockage Cigéo seront stockées en surface sous forme de verses et pourront alors prendre le statut de déchets (soumises aux rubriques de la nomenclature des installations classées 2760-2 et 2760-3, cf. Chapitre 3.2.1.2 du volume II de la présente étude d'impact). Il convient donc de déterminer le caractère inerte ou non de ces argilites excavées en suivant les prescriptions de l'arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes (68). Considérées comme non dangereuses, car ne présentant aucune propriété de danger (explosif, infectieux, inflammable, cancérigène, etc.), le caractère inerte ou non des argilites excavées doit être déterminé par des tests de lixiviation. Ces tests normalisés permettent d'évaluer les composés chimiques contenus dans le matériau susceptibles d'être relâchés au contact des eaux pluviales qui s'y infiltreraient. La liste des paramètres et des valeurs limites à respecter pour leur admission en tant que déchets inertes sont donnés dans l'annexe II de l'arrêté du 12 décembre 2014.

Les quantités d'éléments chimiques lixiviables dans les argilites excavées ont ainsi été déterminées par des tests de lixiviation (selon la norme NF EN 12457-2 de 2002 (69)) réalisés en 2017 et en 2023 sur des échantillons d'argilites prélevés sur la verse du Laboratoire souterrain ou juste avant mise en verse. Les résultats de ces tests sont présentés dans le Tableau 4-3 suivant (moyenne des données de 2017 et de 2023). Ils dépendent notamment de l'état d'altération des argilites. La lixiviation des sulfates tend en effet à être d'autant plus importante que les argilites sont altérées, du fait d'une oxydation plus marquée des pyrites dans les argilites exposées plus longtemps aux conditions de surface. *A contrario*, la lixiviation des chlorures et du sélénium est plus importante dans les argilites peu altérées, suggérant un lessivage par les pluies des composés chimiques présents dans l'eau porale lors des premiers mois d'entreposage en verses. Les autres éléments traces analysés sont généralement inférieurs aux limites de quantification, en accord avec les faibles teneurs totales en éléments métalliques observées dans la couche du Callovo-Oxfordien (cf. Tableau 4-2). Lors de ces tests, le léger dépassement des valeurs limites pour les sulfates (>1 000 mg/kg), la fraction soluble (>4 000 mg/kg) et le sélénium (<0,1 mg/kg) ne permet pas de classer les argilites excavées comme inertes.

De plus, le potentiel acidogène des argilites a été évalué selon la norme NF EN 15875 de 2011 (70) sur les échantillons prélevés en 2023 sur la verse du Laboratoire souterrain. Le rapport du potentiel de neutralisation sur le potentiel d'acidification (NP/AP) ainsi mesuré est supérieur à 4 pour tous les échantillons. Cela indique que le matériau n'est pas acidogène car le potentiel de neutralisation des carbonates est suffisant pour tamponner l'acidité générée par l'oxydation des pyrites.

Tableau 4-3 *Valeurs moyennes ± écart-type des résultats de tests de lixiviation (en mg/kg de matière sèche, analyses sur éluat selon NF EN 12457-2) réalisés sur les argilites excavées à différents états d'altération. N.D. : non déterminé.*

Résultats de lixiviation (en mg/kg M.S.)	État d'altération des argilites excavées analysées		
	Peu altérées	Moyennement altérées	Très altérées
Chlorures	145 ± 12	39 ± 24	<20
Sulfates	581 ± 235	1032 ± 282	1995 ± 535
Fluorures	≤5	≤5	≤5
Zn	<0,1	<0,1	<0,1
Sb	0,03 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01
As	<0,1	<0,1	<0,1
Ba	<0,1	<0,1	0,16 ± 0,07
Cd	<0,002	<0,002	<0,002
Cr	<0,1	<0,1	<0,1
Cu	<0,1	<0,1	<0,1
Hg	<0,001	<0,001	<0,001
Mo	0,05 ± 0,005	0,05 ± 0,03	0,02 ± 0,02
Ni	<0,1	<0,1	<0,1
Pb	<0,1	<0,1	<0,1
Se	0,14 ± 0,01	0,08 ± 0,03	0,02 ± 0,02
COT	<62	<50	<50
Indice phénol	<0,5	<0,5	<0,5
Fraction soluble	11 100	N.D.	5 680

Nota bene : la conception des verses prévoit une assise imperméable et une couverture végétale rendant l'infiltration d'eau et donc la lixiviation négligeable (cf. Chapitre 5.4.2.2 volume IV pièce 06).

4.3.2.6.4 La structure interne des argilites du Callovo-Oxfordien

La minéralogie, la structuration interne (microstructure) et les propriétés d'écoulement et de transport du Callovo-Oxfordien ont fait l'objet de très nombreuses études par la communauté scientifique. Ces études ont fait ont publiées dans des revues et journaux scientifiques et présentés dans de nombreuses conférences.

La structure interne des argilites Callovo-Oxfordien est constituée de minéraux et de l'eau contenue dans les pores (vides entre les minéraux) entre et au sein de certains minéraux argileux (les smectites). L'eau est le vecteur du transport des radionucléides. L'organisation des pores est une caractéristique importante des argilites qui contribue à ces propriétés favorables.

Les minéraux argileux sont des minéraux de très petites tailles (inférieur au micromètre soit un millionième de mètre). Les pores, localisées très majoritairement entre et au sein des minéraux argileux, ont ainsi des tailles principalement comprises entre quelques centaines et dixième de nanomètres (un milliardième de mètre). Les pores de tailles supérieures (de l'ordre du micromètre) sont peu nombreux et ne forment pas un réseau connecté. Les argilites sont considérées comme un milieu poreux homogène à simple porosité compte tenu des tailles petites des pores (de dimension nanométrique), de leur répartition homogène et de la très bonne connectivité entre les différentes tailles de pores.

4.3.2.6.5 La composition chimique de l'eau porale du Callovo-Oxfordien

La composition chimique de l'eau porale (contenue dans les pores) du Callovo-Oxfordien a fait l'objet de nombreuses études expérimentales, notamment dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et d'études de modélisation. La composition chimique de l'eau porale du Callovo-Oxfordien est ainsi bien caractérisée.

L'acquisition des données expérimentales de la composition chimique des eaux s'est appuyée sur des mesures sur échantillons et sur des expérimentations dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne. On citera à titre d'exemple l'expérience PAC (Prélèvement et analyse chimique de l'eau porale) où les données acquises ont permis d'établir un modèle numérique robuste de composition de l'eau porale. Ce modèle est basé sur les processus de régulation de la chimie des eaux comme par exemple les équilibres acido-basiques, les équilibres avec les minéraux et l'électroneutralité. À titre illustratif, le tableau suivant donne la composition des eaux issues de l'expérience PAC et celle déterminée par modélisation (modèle Thermoar de Gaucher *et al.*, 2009 (71)).

L'eau porale du Callovo-Oxfordien est proche de la neutralité acido-basique (pH ~7,0), réductrice (Eh entre -210 mV et -180 mV) et de force ionique modérée (~0,1), avec comme espèces prédominantes les ions chlorure (Cl^-) et sodium (Na^+). Les autres espèces majeures sont les cations bivalents Ca^{2+} et Mg^{2+} et les anions sulfate (SO_4^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-).

Tableau 4-4 Composition géochimique des eaux issues de l'expérience PAC et celle déterminée par modélisation (modèle Thermoar de Gaucher et al., 2009 (71))

Concentration (mmol/L)	PAC1002	Modèle géochimique Thermoar
pH	7,2 ± 0,2	7,2
Force ionique (-)	0,09 ± 0,008	0,08
Polyéthylène (Pe)	~3,0	~3,0
Chlorures	41,4 ± 0,8	41,0
Sulfates	16,2 ± 1,4	15,1
Total inorganique carbon (TIC)	4,5 ± 0,2	2,1
Sodium	53,1 ± 1,7	43,0
Calcium	6,7 ± 0,7	8,0
Magnésium	5,2 ± 0,5	5,0
Potassium	0,9 ± 0,2	1,0
Strontium	0,2 ± 0,01	0,2
Silice	~0,4	0,2

4.3.2.6.6 La perméabilité et le processus de diffusion

La faible dimension des pores dont les surfaces sont constituées de minéraux argileux (qui sont électro-statiquement chargés négativement) confère aux argilites des propriétés spécifiques de mobilité de l'eau et de transport de solutés (composés chimiques dissous dans l'eau). Ainsi l'eau se répartie à environ 50 % d'« eau libre » et 50 % d'« eau liée » respectivement déplaçable et non déplaçable par un gradient de pression hydraulique.

Le réseau de pores de dimension nanométrique et la présence d'eau liée confère ainsi au Callovo-Oxfordien des propriétés hydrauliques intrinsèquement faibles (perméabilité inférieure à 10^{-13} m.s^{-1}). Les circulations d'eau y sont donc très lentes : une molécule d'eau n'y parcourt que de l'ordre de quelques centimètres en 100 000 ans.

Le transport de masse (eau et solutés) dans les pores est donc dominé par le processus de diffusion[14], comme cela a pu être démontré à grande échelle du Callovo-Oxfordien par l'étude des traceurs naturels présents dans l'eau. Les flux de matière sous l'effet de gradient hydraulique sont, de fait, inférieurs à ceux mobilisés par diffusion.

De plus, les anions contenus dans l'eau sont repoussés des surfaces argileuses du fait de leurs charges de surface négatives. Ce phénomène appelé « exclusion anionique » limite l'accès des anions à l'ensemble des pores ce qui réduit leur mobilité en comparaison des molécules d'eau. De nombreux essais expérimentaux et travaux numériques attestent de ce phénomène qui a pu être décrit également dans d'autres roches à dominantes argileuses. Le phénomène d'exclusion des anions ralentit la migration des anions qui ne sont pas retenus à la surface des minéraux argileux et en conséquence « contrebalance » leur absence de rétention.

4.3.2.7 Dogger

Le Dogger comprend deux formations carbonatées (Calcaires du Bajocien inférieur et du Bathonien) séparées par un intervalle plus marneux (Marnes de Longwy). Le Dogger est épais de plus de 200 mètres et constitue la formation géologique sous-jacente du Callovo-Oxfordien. Le Dogger n'affleure pas sur l'aire d'étude éloignée.

4.4 Caractéristiques radiologiques du sous-sol

La radioactivité dans le sous-sol de l'aire d'étude rapprochée est d'origine naturelle (tellurique).

Les éléments radioactifs potentiellement présents dans le sous-sol sont donc le potassium 40 (^{40}K) ainsi que les radioéléments issus de la chaîne naturelle de désintégration de l'uranium 238 (^{238}U), de l'uranium 235 (^{235}U) et du thorium 232 (^{232}Th). Aucune radioactivité artificielle n'a été détectée.

Compte tenu des différentes couches géologiques qui seront traversées par le projet, pour le creusement des liaisons surface-fond (puits et descenderies), dont la couche du Callovo-Oxfordien dans laquelle sera implantée l'installation souterraine du centre de stockage Cigéo, des échantillons de roche, prélevés lors de campagnes de forage entre 1994 et 2008, à des profondeurs comprises entre une dizaine de mètres sous le sol et un peu plus de 600 mètres, et représentatifs de ces différentes couches, ont été analysés. Il s'agit de marnes et de calcaires pour le Kimméridgien et l'Oxfordien carbonaté, et d'argilites pour le Callovo-Oxfordien.

La radioactivité d'es échantillons de verses correspondant au matériau extrait de la couche d'argilite du Callovo-Oxfordien lors du creusement des galeries souterraines du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, a également été mesurée.

4.4.1 Potassium 40 (^{40}K)

Les échantillons de la couche du Callovo-Oxfordien présentent un niveau de radioactivité en ^{40}K relativement homogène, compris entre 510 ± 60 Bq.kg^{-1} et 810 ± 90 Bq.kg^{-1} sec.

La présence de potassium 40 dans les roches sédimentaires est associée aux minéraux argileux qui comportent du potassium dans leur structure minérale.

Les calcaires présentent une composition très différente avec un niveau de radioactivité plus faible dans le Kimméridgien (compris entre 189 ± 20 Bq.kg^{-1} sec et 600 ± 70 Bq.kg^{-1} sec) que dans le Callovo-Oxfordien et une absence de détection d'activité dans les calcaires de l'Oxfordien (≤ à la limite de détection égale à 8 Bq.kg^{-1} sec).

4.4.2 Isotopes du thorium (Th) et de l'uranium (U)

Les familles radioactives de l'uranium 238, l'uranium 235 et du thorium 232 incluant leurs descendants respectifs (^{226}Ra, ^{210}Pb, ^{234}U…) sont naturellement présentes dans les différentes roches du sous-sol.

[14] La diffusion est un phénomène de transport de masse due à l'agitation thermique (mouvement incessant dont sont animés les atomes ou molécules qui constituent la matière). La diffusion tend à rendre homogènes les concentrations des espèces chimiques au sein d'un système. Par diffusion, on observe un déplacement des constituants des zones de forte concentration vers celles de faible concentration.

La géologie sédimentaire du sous-sol composée de calcaires, marnes et argiles en profondeur n'est pas propice à la présence d'éléments radioactifs naturels des familles de l'uranium et du thorium. En effet, contrairement aux roches cristallines, ces roches sédimentaires ne contiennent pas ou peu de minéraux porteurs d'uranium et de thorium.

Les rapports d'activité $^{234}U/^{238}U$ sont, soit égaux à 1, soit très proches de cette valeur, témoignant de l'équilibre séculaire et donc de l'absence de perturbations récentes de la chaine de désintégration de l'uranium.

Les niveaux de radioactivité en ^{232}Th varient entre 25 Bq.kg^{-1} et 41 Bq.kg^{-1} sec dans le Callovo-Oxfordien. Comme pour le ^{40}K, les niveaux de radioactivité en ^{232}Th dans les formations calcaires sont plus faibles que dans le Callovo-Oxfordien, entre 7,6 Bq.kg^{-1} ± 1,1 Bq.kg^{-1} et 31 Bq.kg^{-1} ± 4 Bq.kg^{-1} (valeurs de ^{228}Ac[15] mesurées en spectrométrie gamma), 32 Bq.kg^{-1} mesuré en ICPMS dans le Kimméridgien. Le ^{232}Th n'est pas détecté dans l'Oxfordien.

Quelques soient les couches géologiques, les activités du ^{234}Th et de son arrière-arrière-petit-fils, le ^{226}Ra, sont affectées d'incertitudes de mesure importantes, ce qui nuit à la démonstration. Toutefois, les activités massiques de ces deux radionucléides peuvent être considérées comme égales, aux incertitudes près. Ces deux radionucléides sont considérés à l'équilibre.

Les niveaux de radioactivité en ^{235}U sont assez faibles (≤2 Bq.kg^{-1} sec). Les rapports isotopiques de masse $^{235}U/^{238}U$ sont de 0,72 %, valeur représentative de l'abondance de l'^{235}U dans l'uranium naturel.

Aucun radionucléide artificiel n'est présent.

Le niveau de radioactivité en ^{238}U varie selon la couche étudiée, avec une différenciation nette pour les échantillons issus des formations calcaires qui montrent les niveaux les plus bas (14 Bq.kg^{-1} sec maximum pour les calcaires de l'Oxfordien et 35 Bq.kg^{-1} sec pour les calcaires du Kimméridgien). Les échantillons du Callovo-Oxfordien ont des niveaux de radioactivité en ^{238}U compris entre 19 Bq.kg^{-1} sec et 29 Bq.kg^{-1} sec.

4.4.3 Synthèse de l'état initial radiologique des couches géologiques

Les niveaux de radioactivité naturelle mesurés dans les couches géologiques sont recensés dans le tableau 4-5.

Tableau 4-5 Synthèse des niveaux de radioactivité mesurés dans le sous-sol (prélèvements d'échantillons effectués entre 1994 et 2008, mesures par ICP-MS pour U et Th)

Origine	Éléments radioactifs	Valeurs maximales mesurées	Unité
	Marnes et calcaires du Kimméridgien		
Naturelle	^{40}K	600	Bq/kg sec
	^{226}Ra	29	Bq/kg sec
	^{232}Th	32	Bq/kg sec
	^{234}Th	34	Bq/kg sec
	^{235}U	1,6	Bq/kg sec
	^{238}U	35	Bq/kg sec
	$^{235}U/^{238}U$	0,72 %	Sans Unité (rapport d'activités des deux isotopes)
	$^{234}U/^{238}U$	1	Sans Unité (rapport d'activités des deux isotopes)
Artificielle	Néant		Bq/kg sec
	Calcaire de l'Oxfordien carbonaté		
Naturelle	^{40}K	<8	Bq/kg sec
	^{226}Ra	17	Bq/kg sec
	^{232}Th	<1	Bq/kg sec
	^{234}Th	12,3	Bq/kg sec
	^{235}U	0,7	Bq/kg sec
	^{238}U	14	Bq/kg sec
	$^{235}U/^{238}U$	0,72 %	Sans Unité (rapport de masses des deux isotopes)
	$^{234}U/^{238}U$	1	Sans Unité (rapport d'activité des deux isotopes)
Artificielle	Néant		
	Argilite du Callovo-Oxfordien		
Naturelle	^{40}K	810	Bq/kg sec
	^{226}Ra	34	Bq/kg sec
	^{232}Th	41	Bq/kg sec
	^{234}Th	28	Bq/kg sec
	^{235}U	1,4	Bq/kg sec
	^{238}U	29	Bq/kg sec
	$^{235}U/^{238}U$	0,72 %	Sans Unité (rapport de masses des deux isotopes)

[15] Si on compare les activités massiques mesurées en 232Th par ICP-MS à celles de l'228Ac mesurées en spectrométrie gamma, on constate qu'elles sont parfaitement égales. Le père et le fils sont en équilibre séculaire, ce qui confirme que l'on peut parfaitement utiliser les activités en 228Ac en lieu et place de celles du 232Th.

Origine	Éléments radioactifs	Valeurs maximales mesurées	Unité
	$^{234}U/^{238}U$	1	Sans Unité (rapport d'activité des deux isotopes)
Artificielle	Néant		

Les éléments radioactifs détectés sont exclusivement d'origine naturelle. Les niveaux de radioactivité sont faibles et varient selon la nature des formations géologiques.

4.5 Caractéristiques radiologiques des eaux porales du Callovo-Oxfordien

Le niveau de radioactivité naturelle mesurée sur l'eau dégazée du Callovo-Oxfordien (mesures effectuées en 2022 sur un échantillon d'eau provenant du forage GIS1002) est faible (environ 1 Bq/L). Elle est liée au potassium ^{40}K, en accord avec les concentrations mesurées en potassium dans l'eau.

Les niveaux de radioactivité naturelle mesurés sur l'eau dégazée du Callovo-Oxfordien sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 4-6 Niveaux de radioactivité dans l'eau du Callovo-Oxfordien (mesures effectuées sur un échantillon d'eau provenant du forage GIS1002)

Paramètre	Valeur	Unités	Fraction
Alpha global	<0,12	Bq/L	Soluble
Bêta global	0,94 ± 0,22	Bq/L	Soluble
Bêta hors ^{40}K	<0,16	Bq/L	Soluble

Dans le cas de l'eau tout juste extraite de la roche du Callovo-Oxfordien, celle-ci contient des gaz dont le radon (^{222}Rn) à l'état de traces. Une analyse effectuée en 2011, en prenant des précautions pour limiter les pertes de ce radioélément dont la demi-vie est de 3,8 jours, indique une activité de 2,5 Bq/L (cf. Tableau 4-7).

Tableau 4-7 Activité liée au radon 222 mesurée sur un échantillon de gaz à l'équilibre avec la roche du Callovo-Oxfordien (forage POX1201)

Paramètre	Valeur	Unités
^{222}Rn	2,4 ± 0,45	Bq/L

4.6 Ressources naturelles potentielles du sous-sol

Les ressources naturelles du sous-sol définies dans le code minier incluent les matériaux de carrières, les substances minérales, le charbon, les hydrocarbures et les ressources géothermiques. Elles ont été recensées dans le « Tome 2 du référentiel de site – Bilan des observations de l'OPE sur l'état de l'environnement de surface » (72).

4.6.1 Ressources naturelles

Deux carrières faisant l'objet d'une exploitation sont identifiées au sein de l'aire d'étude spécifique à la ligne électrique 400 kV, l'une sur la commune de Rachecourt-sur-Marne avec les carrières de Saint Christophe et l'autre sur la commune de Gondrecourt-le-Château, au sud-est du bourg. D'anciennes carrières sont signalées sur Wassy (dép. 52) à proximité de la ligne, alors que d'autres sont présentes sur Chevillon (dép. 52), éloignées du passage de la ligne, tout comme à Bure (dép. 55) en forêt et à l'écart de la ligne.

Il existe une servitude type I6 relative à l'exploration et à l'exploitation des mines et carrières en lien avec l'occupation et le passage mais aucune n'est recensée dans les aires d'étude.

4.6.2 Les matériaux de carrière dans l'aire d'étude éloignée

4.6.2.1 Le schéma régional et les schémas départementaux des carrières

La loi Alur du 24 mars 2014 (73) a réformé les schémas départementaux des carrières instaurés en 1993 en modifiant l'article L. 515-3 du code de l'environnement. Elle dispose qu'un schéma régional des carrières vise à remplacer les schémas départementaux des carrières existants. Cette réforme doit permettre :

- une gestion plus rationnelle et économe des matériaux primaires issus de carrières au regard, d'une part, des usages actuels et des utilisations possibles, et, d'autre part, de la disponibilité d'autres ressources minérales, notamment celles issues du recyclage (intégration des déchets inertes valorisables ou recyclés) et celles complémentaires aux granulats terrestres (intégration des granulats marins) ;
- la prise en compte de flux logistiques de plus en plus interdépartementaux voire suprarégionaux, pour lesquels l'échelle régionale est plus adaptée ;
- la sécurisation de l'approvisionnement en matériaux et substances de carrières nécessaires aux projets d'aménagement du territoire et à l'industrie.

Le schéma régional des carrières de la région Grand Est (74) a été approuvé par arrêté préfectoral en date du 27 novembre 2024. Cet arrêté abroge les schémas départementaux des carrières de la Meuse de 2014 (75) et de la Haute-Marne de 2003 (76).

Le SRC est composé des éléments suivants :

- une notice présentant et résumant le schéma régional des carrières ;
- le tome 1 : bilan des schémas départementaux et portée du SRC ;
- le tome 2 : état des lieux ;
- le tome 3 : prospective des besoins et scenarii d'approvisionnement ;
- le tome 4 : objectifs, orientations et dispositions du SRC ;
- l'atlas cartographique.

Les besoins en matériaux du projet global Cigéo sont pris en compte dans le choix du scénario de référence retenu pour les 12 prochaines années (scénario B2 avec une consommation de référence faible et privilégiant les préoccupations économiques et environnementales). La compatibilité du projet global Cigéo est présentée dans le volume IV au chapitre 4.6.5 de la présente étude d'impact.

4.6.2.2 L'exploitation des matériaux alluvionnaires

Dans l'aire d'étude éloignée, aucune ressource n'est avérée ou a été exploitée dans le passé en matériaux alluvionnaires (sables, graviers, etc.). Les petits cours d'eau locaux du secteur comme l'Orge et l'Ormançon n'ont pas de bassins versants suffisamment développés et donc de plaines alluviales conséquentes dans lesquelles des alluvions sablo-graveleuses auraient pu se déposer en quantité suffisante pour être économiquement exploitables.

4.6.2.3 L'exploitation des matériaux de carrière

D'après les données de la Banque de données du sous-sol BSS (2020), plusieurs dizaines de petites carrières à ciel ouvert ont exploité les Calcaires du Barrois par le passé soit pour des besoins locaux en pierre de construction ou granulats soit pour des besoins d'empierrage ou de remblais. L'Oolithe de Bure, une couche de calcaire de deux mètres d'épaisseur bien indurée et peu poreuse, constitue une pierre de taille de qualité. Son exploitation se faisait par excavation de fosses rectilignes de quelques mètres de profondeur et de plusieurs dizaines, voire centaines de mètres de longueur d'où les carriers extrayaient la pierre en déposant les déblais de chaque côté des fosses. Elle a été autrefois exploitée dans des carrières à ciel ouvert ou souterraine notamment à Bure, Givrauval, Reffroy, Saint-Joire, Tréveray et plus généralement sur pratiquement toutes les communes de l'aire d'étude éloignée.

Actuellement, dans l'aire d'étude rapprochée, il existe une carrière à ciel ouvert sur la commune de Gondrecourt-le-Château. Elle exploite les calcaires de l'Oxfordien pour des besoins locaux en granulats ou autres usages d'empierrage (Société Paul CALIN). L'exploitation par tir y est autorisée par le prestataire ALPHAROC (arrêté préfectoral n° 2011-Mi-001 du 18 octobre 2011 (77)).

Dans l'aire d'étude éloignée, la BSS permet de recenser quelques exploitations en activité comme à Stanville, Juvigny-en-Barrois, Brauvilliers Ancerville et Rachecourt-sur-Marne.

4.6.3 Les minerais dans l'aire d'étude éloignée

L'exploitation industrielle du minerai de fer a culminé au XIXe siècle. Il n'y a plus aucune mine de fer en exploitation à l'heure actuelle. Ce minerai, alimentant des forges locales, a été exploité dans de nombreuses petites mines à ciel ouvert où les remplissages karstiques enrichis en minerai de fer étaient excavés. Ces mines étaient situées sur les sommets de plateaux calcaires où ont subsisté en placage les dépôts argileux et latéritiques du Crétacé inférieur. Les mines les plus proches étaient concentrées :

- dans le bois de Tréveray, le bois à l'est de Biencourt-sur-Orge, la forêt de Montiers-sur-Saulx et la forêt de Morley ;
- à l'ouest et sud-ouest dans le bois des Lacets de Mélaire ;
- à Poissons, aux lieux-dits les Hautes Minières et Haut de Guillaumont ; sur le plateau au-dessus de Montreuil-sur-Thonnance et le bois de Châtillon à Thonnance-lès-Joinville.

Les données géologiques disponibles incluant les données de la « Banque de données du sous-sol » (BSS) et les informations historiques indiquent qu'il n'y a eu aucune mine à ciel ouvert ou souterraine exploitant dans le passé des substances minérales sur l'aire d'étude éloignée, autre que les anciennes petites mines locales de fer situées sur les plateaux.

Par ailleurs, le forage le plus profond de l'Andra (EST433 réalisé à Montiers sur Saulx) a identifié une série de couches d'argile et de sel d'environ 190 mètres d'épaisseur datée du Trias supérieur comprise entre 1 400 m et 1 600 m de profondeur. Ces couches ne sont pas exploitables en l'état en raison de la profondeur. Historiquement, le sel a été exploité dans les salines et les mines où les couches de Trias supérieur étaient à l'affleurement ou à quelques centaines de mètre de profondeur comme dans les départements voisins des Vosges, de la Meurthe-et-Moselle et de la Moselle.

À l'heure actuelle, aucune ressource minière n'est exploitée sur l'ensemble de la couverture sédimentaire de l'aire d'étude éloignée.

4.6.4 Le charbon dans l'aire d'étude éloignée

Les recherches et exploitations de charbon et d'hydrocarbures du XIXe et XXe siècles en Lorraine ont montré que les gisements de charbon se situaient dans deux étages du Carbonifère supérieur : le Wesphalien surmonté par le Stéphanien, datés entre environ 300 et 320 millions d'années. Dans le bassin charbonnier Lorrain, les formations sédimentaires du Wesphalien sont les plus riches en charbon. Elles ont été largement exploitées au nord du département de la Moselle à plus de 10 km au nord-est de l'aire d'étude éloignée.

Dans l'aire d'étude éloignée, les formations du Wesphalien et du Stéphanien ont été identifiées à plus de 4 000 mètres de profondeur. Cette profondeur est trop importante pour pouvoir les exploiter avec les techniques d'exploitation actuelles.

Ainsi en regard des potentiels et des profondeurs associées, aucune ressource en charbon potentiellement exploitable n'a été identifiée dans l'aire d'étude éloignée.

4.6.5 Les hydrocarbures dans l'aire d'étude éloignée

Les hydrocarbures liquides ou gazeux contenus dans les formations géologiques sont des fluides plus légers que l'eau. Ils ont une tendance naturelle à migrer de la roche-mère, vers la surface. Dans certains cas, ils atteignent des pièges géologiques, roche sédimentaire poreuse surmontée d'une couverture imperméable dont la structuration tectonique permet l'accumulation des fluides et la formation des gisements conventionnels de pétrole et/ou de gaz. Une partie des hydrocarbures générés reste cependant piégée et disséminée au sein des roches-mères d'origine et constitue des hydrocarbures de roches-mères ou hydrocarbures non-conventionnels.

Les gisements d'hydrocarbures les plus proches du centre de stockage Cigéo sont situés en dehors de l'aire d'étude éloignée :

- le gisement de pétrole de Forcelles dans la Meurthe et Moselle à environ 54 km à l'est-sud-est, exploité jusqu'à la fin des années quatre-vingt-dix ;
- le gisement de gaz des Trois-Fontaines-l'Abbaye près de Saint-Dizier à 39 km au nord-ouest, converti en site de stockage en 2010. Après une mise en exploitation réduite en 2012, Storengy a redémarré en janvier 2023 le soutirage d'une partie du gaz encore présent dans le réservoir du site de stockage. Aucun gaz ne sera injecté, contrairement aux autres stockages en activité en France.

Ces deux gisements qui ne sont plus exploités, présentent des caractéristiques communes : les roches-mères sont datées du Westphalien, les pièges des gisements sont structuraux et les réservoirs d'hydrocarbures sont dans des couches datées du Trias moyen à supérieur, situées sous la couverture régionale imperméable représentée par les couches de sel du Trias supérieur.

Dans l'aire d'étude éloignée, les formations sus-jacentes au Carbonifère ne présentent aucune accumulation de matière organique, l'enfouissement des argiles et schistes carton du Toarcien autour de 1 000 mètres dans ce secteur, n'est pas suffisant pour créer les conditions de pression et de température nécessaires à la transformation de la matière organique en hydrocarbures.

De plus, les données géologiques et géophysiques d'exploration pétrolière des années 50 à 80, ainsi que les campagnes sismiques 3D haute résolution sur la zone, couplées aux données des campagnes de reconnaissance géologique menées par l'Andra depuis environ 30 ans n'ont pas permis d'identifier de pièges structuraux sur l'ensemble de l'aire d'étude éloignée.

4.6.6 La géothermie dans l'aire d'étude éloignée

» DÉFINITION

La **géothermie** désigne l'ensemble des applications permettant de récupérer la chaleur contenue dans le sous-sol ou dans les nappes d'eaux souterraines. Différents types de géothermie sont distingués selon la température des formations géologiques exploitées :

- la **géothermie très basse énergie** (TBE) concerne l'exploitation des ressources de faible température (température inférieure à 30 °C). Associée à une pompe à chaleur, elle peut reposer soit sur des dispositifs de récupération de la chaleur emmagasinée dans les couches superficielles du sol (de quelques dizaines de centimètres à quelques dizaines de mètres de profondeur), soit sur le pompage de l'eau d'aquifères peu profonds (généralement jusqu'à 100 mètres). Elle est bien adaptée pour le chauffage des logements individuels et au petit tertiaire ;
- la **géothermie basse énergie** (BE) concerne l'extraction d'une eau dont la température est comprise entre 50 °C et 100 °C. Elle repose sur les gisements situés entre quelques centaines de mètres et quelques kilomètres de profondeur. La chaleur contenue dans les eaux souterraines peut être directement utilisée dans les réseaux de chauffage urbain.

Les **géothermies à plus hautes énergies** (moyenne énergie et haute énergie) se basent sur des fluides localisés à des profondeurs plus importantes, captés sous forme de vapeurs pouvant être utilisées pour la production d'électricité.

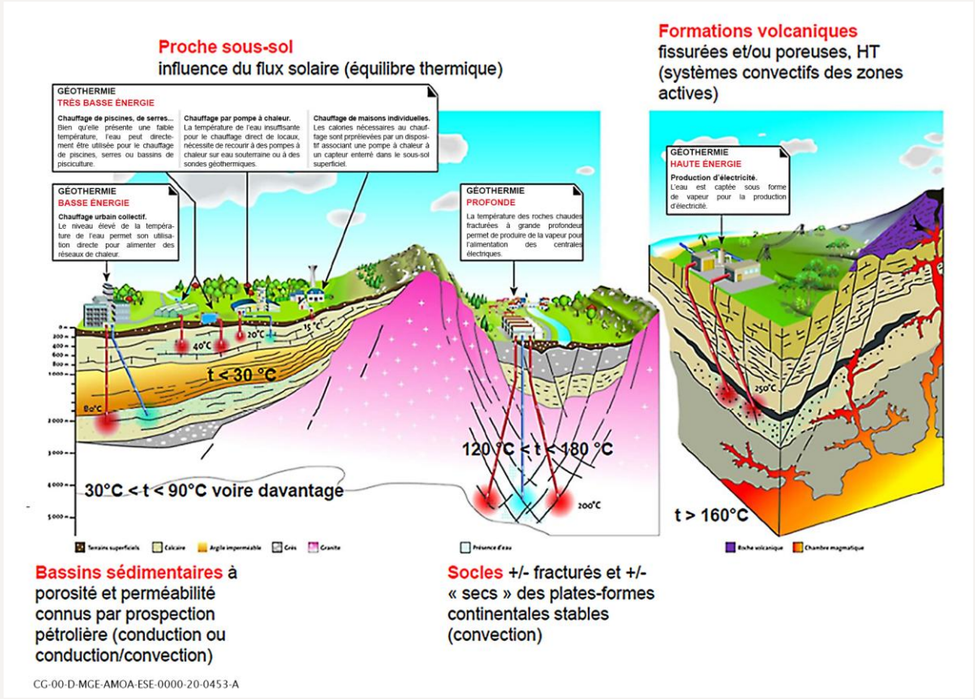


Figure 4-13 Les différents types de géothermie (BRGM)

4.6.6.1 Exploitations géothermiques existantes

D'après les données de la Base de données du sous-sol (BSS)[16] il existe une vingtaine d'installations de géothermie très basse énergie (TBE). Ces installations sont listées dans le tableau 4-8 présenté ci-après. Les données de la BSS ne recensent aucune installation de géothermie basse énergie (BE) sur la ZT.

Tableau 4-8 Installations de géothermie de très basse énergie sur la ZT et au-delà

Type d'installation géothermique	Profondeur (m)	Commune	No. BSS
Sonde géothermique	90	Bonnet	BSS000UNTX
Sonde géothermique	73	Bure	BSS000UNPB
Sondes géothermiques	114	Bure	BSS003WCWA, C, G, K et W
Sonde géothermique	76	Chassey Beaupré	BSS000UPDD
Champ de sondes géothermiques	92	Dammarie sur Saulx	BSS000UNAH
Pompe à chaleur sur aquifère	10	Gondrecourt le Château	BSS000UNWJ
Sonde géothermique	86	Gondrecourt le Château	BSS004FPLX
Sonde géothermique	99	Gondrecourt le Château	BSS003CRYO
Sonde géothermique	85	Demange-Baudignécourt	BSS004FQRT
Sonde géothermique	60	Bouchon sur Saulx	BSS004FQJA
Champ de sondes géothermiques	91	Dainville Bertheleville	BSS004FPTP
Champ de sondes géothermiques	92	Stainville	BSS000SAZC
Champ de sondes géothermiques	70	Rupt aux nonains	BSS004FQHZ
Sonde géothermique	80	Ancerville	BSS000RZNR
Sonde géothermique	113	Sommelonne	BSS000SASC
Champ de sondes géothermiques	70,5	Bar le duc	BSS004FQHT
Champ de sondes géothermiques	97	Bar le duc	BSS004FQHX
Champ de sondes géothermiques	110	Bar le duc	BSS003VGTY
Champ de sondes géothermiques	90	Bar le duc	BSS004FQHV
Forage d'alimentation pour pompe à chaleur	91	Chamouilley	BSS000SATA
Pompe à chaleur	24	Chamouilley	BSS000SASV
Champ de sondes géothermiques	125	Rachecourt sur marne	BSS004FMTB
Champ de sondes géothermiques	85	Chevillon	BSS004FMHW
Champ de sondes géothermiques	100	Joinville	BSS004FMRA
Sonde géothermique	90	Rupt	BSS000UNHD
Champ de sondes géothermiques	100	Joinville	BSS004FMHX

4.6.6.2 Caractérisation du potentiel géothermique de l'aire d'étude rapprochée

Afin d'évaluer le potentiel géothermique de la future zone d'implantation du centre de stockage Cigéo, l'Andra a mené une opération de forage en 2007-2008, à la demande du Comité local d'information et de suivi du laboratoire de Bure (Clis). Cette opération a été réalisée dans le cadre d'un programme baptisé TAPSS 2000, organisé entre l'Andra et un consortium de 21 laboratoires (universités françaises, CNRS, IFPEN, BRGM, IRD et IRSN). Le forage profond a été réalisé par l'Andra et mis à la disposition de la communauté scientifique.

[16] https://infoterre.brgm.fr/page/banque-sol-bss

Les données acquises par l'Andra sur les eaux souterraines (cf. Chapitre 5.2 du présent volume) sous le centre de stockage Cigéo, jusqu'à environ 2 000 mètres de profondeur ont mis en évidence les éléments suivants :

- les formations géologiques superficielles comme les calcaires du Barrois qui présentent un potentiel exploitable par géothermie très basse énergie (TBE) jusqu'à une profondeur d'environ 100 mètres. Toutefois, les débits disponibles sont faibles et aléatoires ;
- la présence de trois aquifères respectivement localisés dans l'Oxfordien calcaire, le Dogger calcaire et les Grès de Lorraine ;
- le Trias inférieur (grès de Lorraine encore appelés grès du Buntsandstein) qui présente les meilleures propriétés hydrauliques avec une perméabilité d'environ 10^{-5} m/s à $4{,}10^{-5}$ m/s, une température de l'ordre de 66 °C et une salinité très élevée d'environ 180 g/l (à titre de comparaison, l'eau de la Mer Méditerranée est de l'ordre de 38,5 g/l). Cet aquifère est donc potentiellement exploitable pour de la géothermie basse énergie (BE) avec les contraintes de ses caractéristiques intrinsèques (forte salinité) ; le Dogger et l'Oxfordien localement aquifères qui se caractérisent par une perméabilité largement plus faible que le Trias inférieur (deux ou trois ordres de grandeur) et des températures inférieures à 30 °C. Ils ne sont pas intéressants pour de la géothermie BE et encore moins pour la géothermie moyenne énergie (ME) et haute énergie (HE) ;
- les autres couches comme le Callovo-Oxfordien, qui ne sont pas aquifères et ne présentent donc pas d'intérêt pour la géothermie BE à HE ;
- aucune des formations comprises dans les 2 000 premiers mètres de profondeur ne présente de potentiel pour de la géothermie ME et HE. De telles exploitations nécessiteraient d'exploiter des couches plus profondes que le Trias. Les investigations ont permis de définir le gradient géothermal qui s'établit à 3 °C/100 m et s'inscrit dans la moyenne nationale. Ainsi, il serait nécessaire d'atteindre des profondeurs minimales de 3 000 mètres pour de la géothermie ME et de 5 000 mètres pour de la géothermie HE.

Parmi les trois horizons aquifères identifiés, seule la formation argilo-gréseuse du Trias inférieur constitue une ressource géothermique BE potentielle. Son exploitation a donc été étudiée et fait l'objet du chapitre ci-dessous.

Concernant la formation argilo-gréseuse du Trias inférieur constituant une ressource géothermique BE potentielle, la température de cette formation s'établit à 66 °C, ce qui correspond aux températures les plus basses exploitées dans le Dogger en région parisienne qui sont en moyenne de 73 °C à 1 800-2 000 mètres de profondeur. Avec 180 g/l, la salinité de l'eau de la formation argilo-gréseuse est largement plus élevée que celle du Dogger exploitée en région parisienne où elle varie entre 6,5 g/l et 35 g/l.

La salinité implique plusieurs contraintes d'exploitation :

- la mise en œuvre d'équipements adaptés et coûteux comme des pièces et tuyauteries en titane ;
- la mise en œuvre de doublets géothermiques pour réinjecter l'eau dans la nappe car la salinité est trop élevée pour que l'eau puisse être rejetée en surface. La réinjection nécessite souvent l'emploi de techniques complexes lorsque le fluide est très salé (risque de corrosion des équipements), lorsqu'il est chargé en argiles (risque de colmatage de la zone de réinjection) ou encore lorsque le contraste de température entre l'extraction et la réinjection est fort (risque de dépôt dans les conduites). En France, plusieurs tentatives d'exploitation durable avec réinjection dans des grès du Trias ont échoué en raison de la difficulté de développer des techniques adaptées aux caractéristiques des eaux de ces grès cumulant une teneur très élevée en sel ainsi qu'en particules d'argile.

Le rapport de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) « Potentiel géothermique du site de Meuse/Haute-Marne », 2014 (78) conclut que : « *La ressource géothermique du secteur de Meuse/Haute-Marne ne présente pas de caractère exceptionnel. En effet, elle ne présente pas d'intérêt particulier par rapport à d'autres formations ou zones qui possèdent un potentiel géothermique mieux démontré et des conditions d'exploitation plus aisées, comme la formation du Dogger du centre du Bassin parisien, ni un gradient géothermique élevé, comme dans le pourtour du Massif Central ou du fossé rhénan* ».

Les travaux menés par l'Andra sur l'aire d'étude éloignée du milieu physique et les connaissances disponibles à l'échelle régionale confirment que les ressources avérées ou potentielles en géothermie n'ont aucun caractère exceptionnel ou particulier. Elles sont similaires à celles qui existent très largement dans la région proche de l'aire d'étude éloignée du milieu physique.

Les conclusions de l'Andra n'ont par ailleurs pas été remises en cause par les contre-expertises indépendantes de l'IRSN, du BRGM et de Géowatt (mandatée par le Clis), ainsi que par la Commission nationale d'évaluation.

Ce point a également fait l'objet d'une note de contribution présentée lors du débat public « Potentiel géothermique du site de Meuse/Haute-Marne », 2014 (78).

4.7 Risques majeurs liés à la géologie

» RISQUES MAJEURS

La notion de « risques majeurs » est notamment définie dans les dossiers départementaux sur les risques majeurs (DDRM) de la Meuse (29) et de la Haute-Marne (30), l'article L. 125-2 du code de l'environnement imposant à l'État d'informer toute personne sur les risques majeurs auxquels elle est soumise dans certaines zones du territoire. Le risque majeur y est décrit comme la possibilité d'un événement d'origine naturelle ou anthropique, dont les effets sont susceptibles de mettre en jeu un grand nombre de personnes, d'occasionner des dommages importants et de dépasser les capacités de réaction de la société.

Ce chapitre décrit les risques liés à la géologie : mouvements de terrain et séismes. Le recensement des risques présents a été réalisé à partir des dossiers départementaux des risques majeurs (DDRM) de la Meuse et de la Haute-Marne (29, 30) et du site internet Géorisques.

4.7.1 Risques de mouvements de terrain

» MOUVEMENTS DE TERRAIN

Les **mouvements de terrain** sont un déplacement gravitaire, plus ou moins brutal, du sol ou du sous-sol sous l'effet de sollicitations naturelles (fonte des neiges, pluviométrie, séisme, dissolution liée à de l'infiltration d'eau, etc.) ou anthropiques (terrassement, vibration, déboisement, exploitation minière de matériaux ou de nappes aquifères, etc.). Les volumes en jeu peuvent atteindre plusieurs millions de mètres cubes. Les déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an), rapides (quelques centaines de mètres par jour) à très rapide (plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres par seconde) comme dans le cas de chutes de pans de falaises ou d'escarpements rocheux (chute de blocs).

Dans l'aire d'étude immédiate, les mouvements de terrains potentiels peuvent être dus notamment à :

- un effondrement de cavité souterraine naturelle karstique ou d'une galerie artificielle ;
- un retrait-gonflement des argiles lié à la variation de l'humidité des sols telle que dans certains terrains argileux se produisent des gonflements (période humide) et des tassements (périodes sèches) ;
- un glissement de terrain se produisant généralement sur pente en situation de forte saturation en eau des sols meubles ;
- une coulée de boue caractérisée par un transport de matériaux sous forme plus ou moins fluide par l'afflux important d'eau ;
- l'érosion des berges d'un cours d'eau sous l'action des crues.

4.7.1.1 Risques liés à un effondrement de cavités souterraines naturelles ou artificielles

Plusieurs cavités souterraines et excavations à ciel ouvert ont été recensées sur les communes de l'aire d'étude immédiate :

- deux carrières non répertoriées sur Géorisques : l'une à Bure (il s'agit d'une ancienne petite mine de fer et l'autre à Tronville-en-Barrois) ;
- plusieurs cavités naturelles à Ribeaucourt, Bure, Mandres en Barrois, Bonnet, Cirfontaines-en-Ornois, Chassey-Beaupré, Gondrecourt-le-Château, Saint-Amand-sur-Ornain, Nantois et Tronville-en-Barrois. Ces anfractuosités naturelles sont liées aux reliefs karstiques creusés par dissolution des calcaires liée aux circulations d'eau au sein des calcaires du Barrois ;
- des ouvrages anciens sur le site archéologique des ruines de Nasium à Saint-Armand-sur-Ornain et des ouvrages civils souterrains (comme les aqueducs, tunnels routiers et ferroviaires, passages souterrains piétons) ;
- une cave ou des ouvrages troglodytes creusés par l'homme à Velaines et à Nançois-sur-Ornain ;
- la carrière de roche en activité à Gondrecourt-le-Château.

Des effondrements de cavités souterraines ont été répertoriés à Nançois-sur-Ornain et à l'ouest de Ligny-en-Barrois.

En l'absence de relief karstique classique constitué de cavités souterraines de moyenne à grande ampleur dans les calcaires du Barrois (cf. Chapitre 4.3.2.6 du présent volume), le risque d'effondrement de cavité est très faible dans l'aire d'étude immédiate. Aucun mouvement de terrain et aucun glissement n'a été répertorié autour du centre de stockage.

4.7.1.2 Risques liés à un retrait et gonflement des argiles

Le retrait par assèchement des sols argileux lors d'une sécheresse prononcée et/ou durable produit des déformations de la surface des sols (tassements différentiels). Il peut être suivi de phénomènes de gonflement au fur et à mesure du rétablissement des conditions hydriques initiales ou plus rarement de phénomènes de fluage avec ramollissement (déformation lente d'un sol sur des pentes faibles).

La cartographie des zones exposées au phénomène de retrait gonflement des argiles du 1er janvier 2020 est présentée sur le site internet Géorisques (cf. Figure 4-14).

Dans l'aire d'étude immédiate aucune zone d'aléa fort n'est identifiée. Plusieurs vallées : l'Orge, l'Ornain et ses affluents dont l'Ormançon présentent un aléa moyen. Les autres secteurs de l'aire d'étude immédiate, principalement sur les affleurements de marnes sont en aléa faible.

4.7.1.3 Autres risques de mouvements de terrain

D'autres mouvements de terrain ont été répertoriés sur le site internet de Géorisques[17] :

- érosion des berges de l'Ornain sur la commune de Givrauval ;
- glissement de terrain sur les hauteurs de Tronville-en-Barrois, et au pied de la route nationale N4 et du canal à Ligny-en-Barrois.

Ces quelques mouvements de terrain sont tous circonscrits dans la vallée de l'Ornain ; cet aléa reste faible.

Aucun risque de coulée de boue n'est répertorié dans l'aire d'étude immédiate.

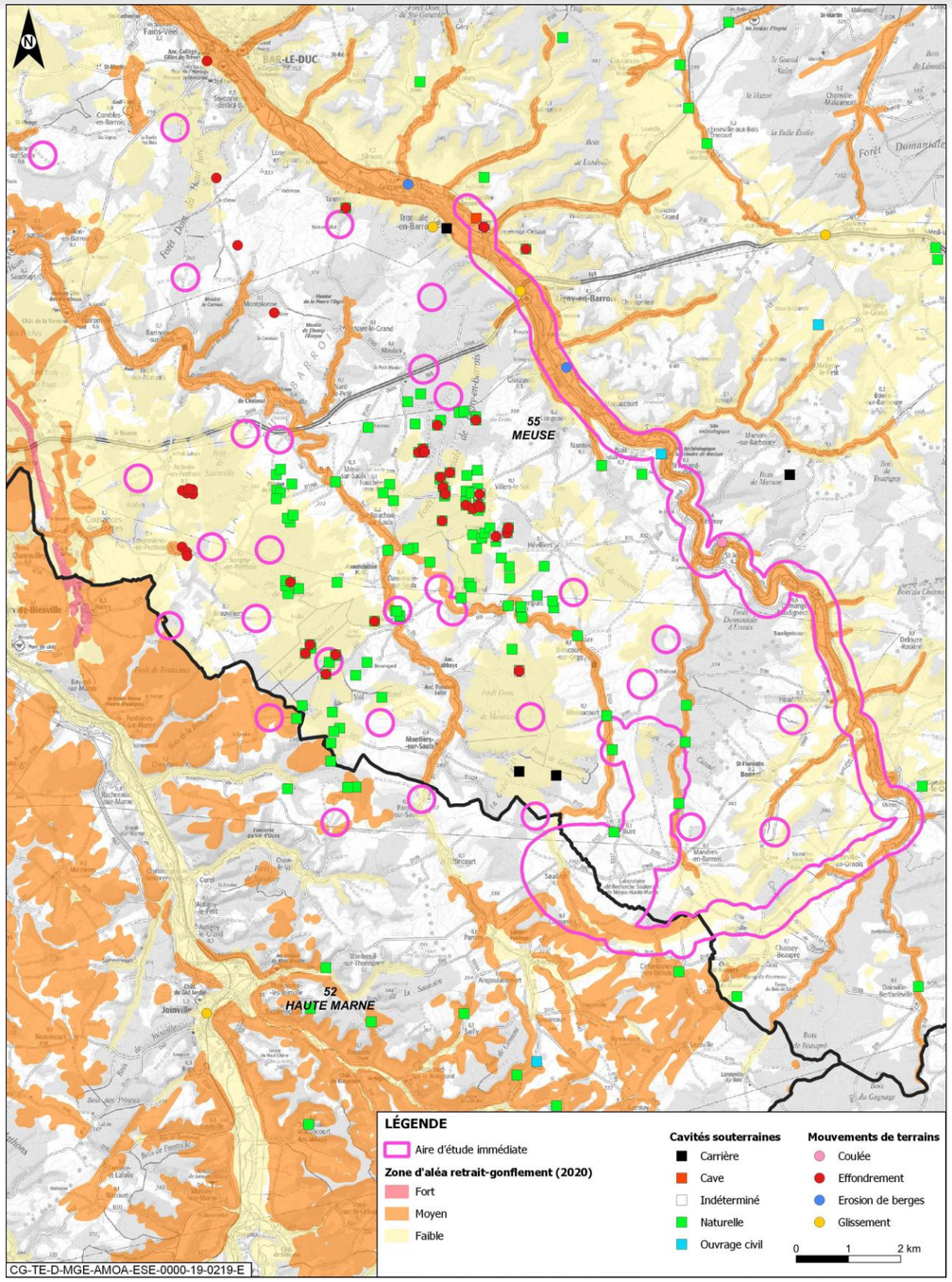


Figure 4-14 Risques géologiques

[17] https://www.georisques.gouv.fr/

4.7.1.4 Risques de mouvement de terrain le long de la ligne électrique 400 kV

La consultation de la base de données Géorisques a permis de relever la présence de **cavités** au niveau des communes traversées par la ligne à 400 kV. Elles correspondent principalement, le long du tracé de la ligne, à des cavités naturelles avec une concentration au niveau de la commune de Troisfontaines-la-Ville dans le département de la Haute-Marne et une à proximité de la ligne à Autreville.

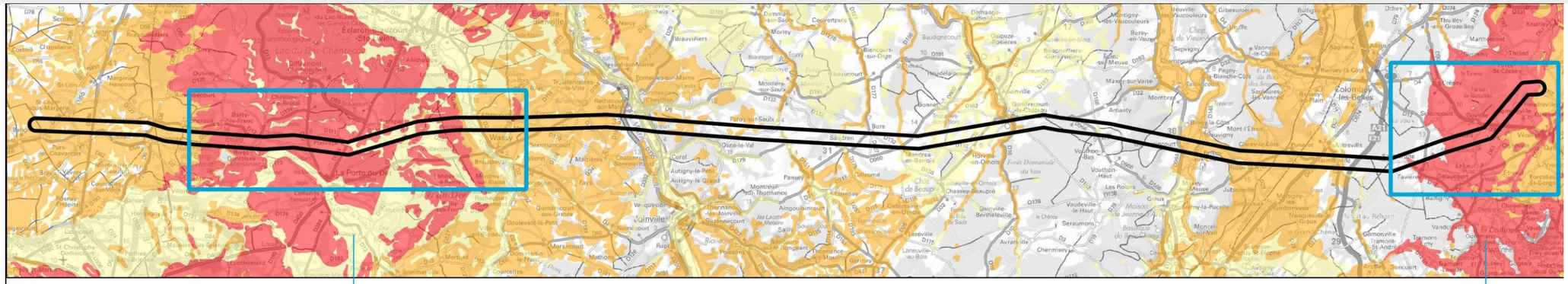
D'autres sont observables dans la vallée de la Blaise, celle de la Marne, à Bure, à l'écart du tracé de la ligne (triangles jaunes sur les extraits de cartes).

Certaines de ces cavités, dénommées « gouffres », sont également relevées sur Chevillon (dép. 52) et Osne-le-Val (dép. 52) à l'écart également du tracé de la ligne, ainsi qu'une grotte à Favières (dép. 54) elle aussi éloignée.

Concernant les aléas retrait-gonflement des argiles, deux secteurs présentent un aléa fort. Il s'agit d'une part de la région du Saintois entre Houdreville et Dolcourt (supports 296 à 312), et d'autre part du secteur du Pays du Der depuis la vallée de la Blaise jusqu'à Lentilles (supports 104 à 126).

D'autres secteurs plus localisés concernent les supports 128, 129, 131 et 136 à Frampas, les supports 138 et 139 à Voillecomte, et les supports 142 à 145 à Wassy (cf. Figure 4-15).

Les autres risques de mouvements de terrain potentiels ne sont pas concernés.

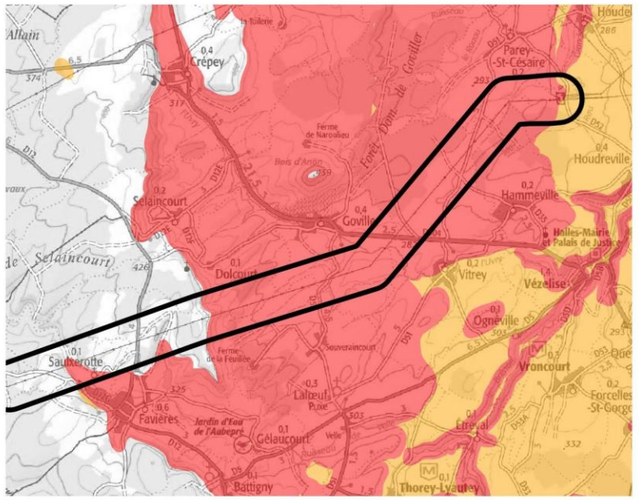


Échelle :
0 5 10 15 20 KM
Projection cartographique Lambert 93

LÉGENDE
Limite de l'aire d'étude de la ligne à 400 000 volts
Aléa fort
Aléa moyen
Aléa faible



Échelle :
0 1.5 3 4.5 6 KM
Projection cartographique Lambert 93



Échelle :
0 1.5 3 4.5 6 KM
Projection cartographique Lambert 93

CG-TE-D-MGE-CRTE-ESE-0000-20-0311-A

Figure 4-15 Risque lié au retrait/gonflement des argiles le long de la ligne électrique 400 kV

4.7.2 Risque sismique d'origine naturelle ou anthropique

L'ensemble de l'aire d'étude éloignée et de l'aire d'étude spécifique de la ligne électrique 400 kV est localisé en zone de sismicité 1 c'est-à-dire présentant une activité sismique qualifiée de « très faible » (cf. Figure 4-16), selon le zonage sismique français en vigueur depuis le 1er mai 2011 défini par l'article D. 563-8-1 du code de l'environnement.

La réglementation parasismique distingue deux classes d'ouvrage « les ouvrages à risque normal » et « les ouvrages à risque spécial » et fixe différents niveaux d'exigence de résistance aux séismes selon le niveau de risque à la personne et de l'impact socio-économique que présente la défaillance de chaque ouvrage.

Les installations nucléaires de base comme le projet de centre de stockage se classent dans la catégorie des « ouvrages à risque spécial » comme les barrages et les installations classées pour la protection de l'environnement.

Elles font l'objet de recommandations et de règles de sureté spécifiques, dites règles fondamentales de sureté (cf. RFS 2001-01 (79) et RFS III.2.f pour les INB (80)), établies par l'Autorité de sureté nucléaire.

Dans toute la région située au nord-ouest de l'aire d'étude éloignée, il n'existe aucun épicentre de séisme historique et la sismicité instrumentale est nulle.

Dans toute l'aire d'étude éloignée, il n'existe aucun épicentre de séisme historique et la sismicité instrumentale est nulle. Aucun séisme n'a été ressenti ou n'a occasionné des dégâts matériels au cours des derniers 1 000 ans. Aucun indice de déformation néotectonique n'a été reconnu sur les failles les plus proches (cf. Chapitre 4.2.3 du présent volume) et dans leur voisinage, ces dernières étant inactives depuis *a minima* 2,5 millions d'années, c'est-à-dire depuis le Quaternaire. Il est probable au vu de leur signature sismique qu'il n'y a eu aucune déformation sur ces dernières depuis la dernière grande phase tectonique distensive Oligocène à l'origine de la formation des grands fossés de la Limagne, de la Bresse ou du Rhin, soit depuis les derniers 25 millions d'années.

La sismicité naturelle ne commence à se manifester qu'à l'est d'une ligne Langres-Neufchâteau-Toul, à plus de 30 km du centre de stockage Cigéo. Les manifestations d'activité sismique significatives les plus proches se situent dans des zones situées à environ 50 km de l'aire d'étude rapprochée.

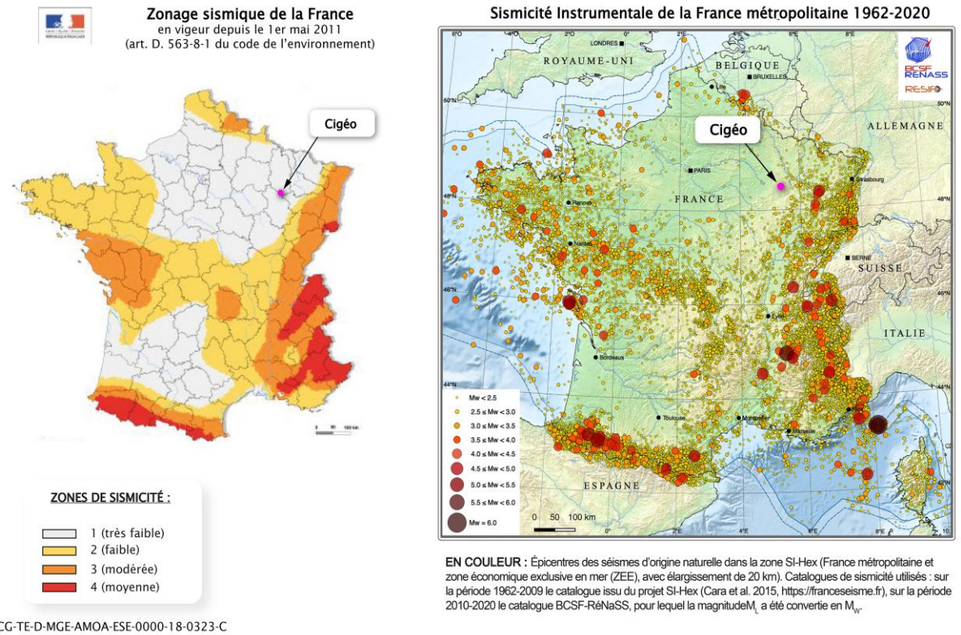
Dans le cadre de la détermination des mouvements sismiques à prendre en compte pour la sûreté des installations nucléaires, l'Andra a fait installer depuis 2001, un réseau d'écoute sismique (RES) spécifique afin de disposer de données précises sur la sismicité instrumentale de la région d'implantation du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

Il est composé actuellement de cinq stations sismiques qui viennent s'ajouter au maillage d'autres réseaux utilisés pour la surveillance régionale et nationale : réseau sismique numérique (RSN), réseau national de surveillance sismique (RéNass) et réseau sismologique & géodésique français (Résif). La combinaison et l'emboitement des différents réseaux visent à disposer de données précises pour caractériser la sismicité locale dans un rayon de 30 km autour du Laboratoire de recherche souterraine de Meuse/Haute-Marne et la sismicité régionale dans un rayon de 80 km. Ce dispositif doit également améliorer, dans la mesure du possible, la surveillance des failles régionales plus éloignées, comme celles de Metz et de Vittel par exemple, en relation éventuelle avec la sismicité de la zone « active » des Vosges.

Combinés aux données des réseaux nationaux mis en place depuis 1962 (RSN, RéNaSS), soit 61 ans d'observation, le réseau d'écoute sismique (RES) et le réseau accélérométrique :

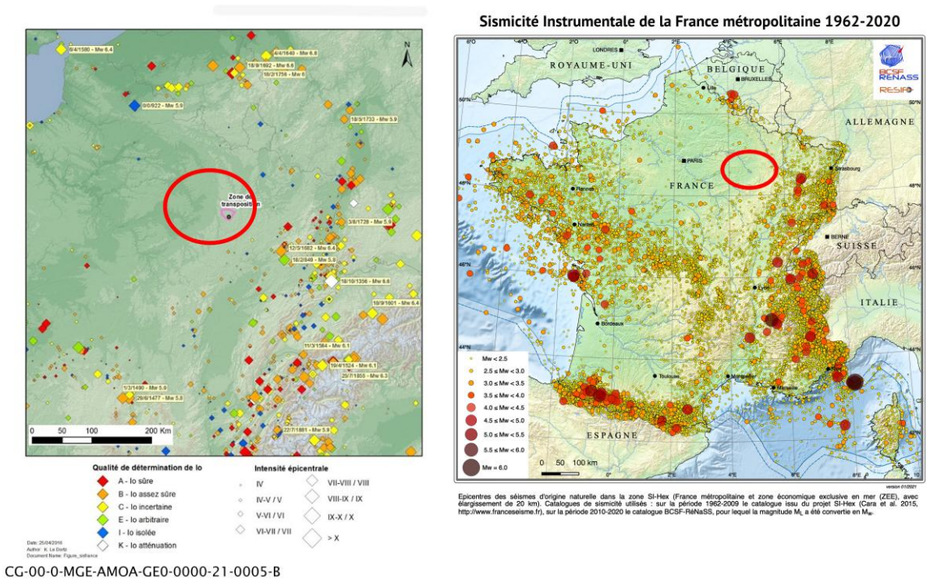
- confirment l'absence de sismicité naturelle depuis 1962 à l'ouest d'une ligne Chaumont-Neufchâteau-Commercy (cf. Figure 4-18) ;
- permettent d'identifier et localiser la sismicité induite, notamment les tirs de carrière (cf. Figure 4-19).

Ainsi, outre l'identification et la caractérisation de l'ensemble des tirs de carrières sur la région (cf. Étoiles sur la figure 4-19) par ces réseaux, la sismicité induite a fait l'objet d'une attention particulière quant à la discrimination des séismes naturels et anthropiques (cf. Carrés sur la figure 4-19). Ainsi, deux « essaims » de sismicité induite ont été reconnus comme distingués sur la figure 4-19, les deux sites de stockage de gaz souterrain de Cerville situé à 70 km à l'est, et le site de Trois-Fontaines-l'Abbaye situé à plus de 40 km au nord-nord-ouest. Après une mise en exploitation réduite en 2012, Storengy a redémarré en janvier 2023 le soutirage d'une partie du gaz encore présent dans le réservoir du site de stockage de Trois-Fontaines-l'Abbaye. Aucun gaz ne sera injecté, contrairement aux autres stockages en activité en France. La sismicité induite, provoquée par le pompage de gaz stocké dans ces stockages souterrains est caractérisée par des évènements de très faible magnitude, de l'ordre de M = 0,5 à 2,8 à Cerville et de l'ordre de M = 0,6 à 1,2 sur le site de Trois Fontaines.



CG-TE-D-MGE-AMOA-ESE-0000-18-0323-C

Figure 4-16 Zonage sismique en France et instrumentale (base SiHex – Cara et al., 2015 à droite) (81, 82)



CG-00-0-MGE-AMOA-GE0-0000-21-0005-B

Figure 4-17 Sismicité historique (base SisFrance à gauche) et instrumentale (base SiHex – Cara et al., 2015 à droite (81, 82)) et localisation de la région de Meuse/Haute-Marne

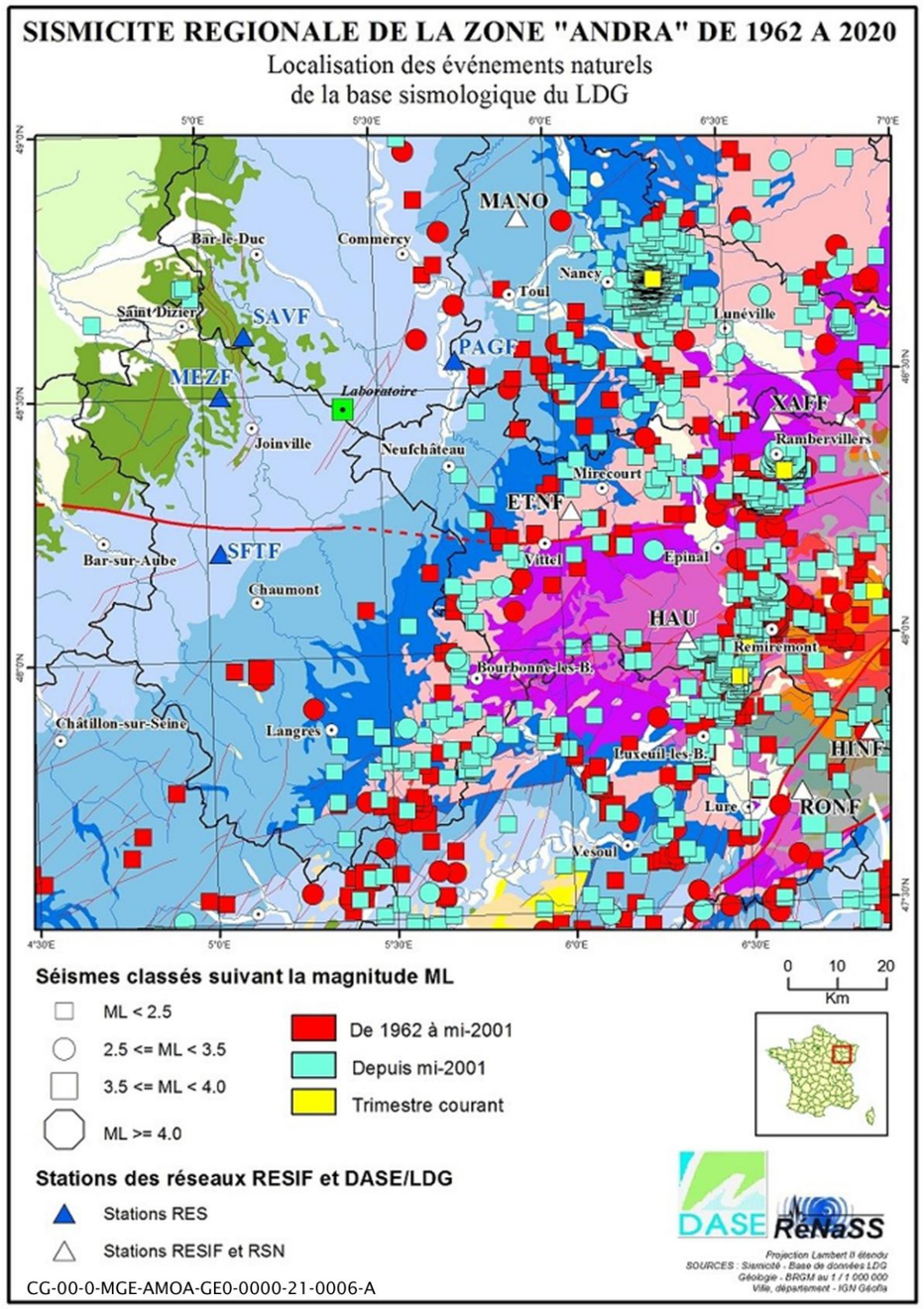


Figure 4-18 *Carte de la sismicité naturelle de la « zone Andra » sur la période 1962- 2020 sur fond géologique (trimestre courant : octobre-novembre-décembre 2020)*

En dépit du contexte géodynamique et sismotectonique relativement calme qui domine sur cette région à très faible sismicité, lui conférant un caractère asismique au regard des régions avoisinantes dites « actives » (Vosges, Fossé rhénan, Alpes…), l'occurrence potentielle de séismes est couverte dans l'évaluation de l'aléa sismique par la RFS-2001-01 (79). Cette règle préconise la prise en compte de séismes de référence qui sont les séismes les plus pénalisants susceptibles de générer les intensités les plus fortes sur le site étudié. Le spectre d'aléa retenu à ce jour est l'enveloppe du Spectre Minimum Forfaitaire (<3 Hz) et du scénario du séisme de Clairvaux (Luxembourg) révisé (Ms : 5,2 / Z : 12 km).

Un spectre de dimensionnement en exploitation a été ultérieurement retenu qui est enveloppe et offre suffisamment de marge vis-à-vis du spectre d'aléa sur toute la gamme de fréquences.

En complément, pour la phase post-fermeture, selon le guide de sûreté ASN relatif au stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde (2008) (83), l'aléa sismique doit reposer sur les caractéristiques du séisme maximal physiquement possible (SMPP) établies sur la base du contexte tectonique du site.

Bien qu'aucun indice de paléosismicité et de déformation quaternaire d'origine tectonique n'ait été observé et bien que les failles de ce secteur dans un rayon de 50 km soient toutes considérées comme inactives (pas de déformation quaternaire, c'est à dire de déformation sur les 2,5 derniers millions d'années) et depuis probablement les 20 derniers millions d'années, une hypothèse forte et pénalisante est faite en les considérant comme potentiellement actives dans l'évaluation de l'aléa sismique en post-fermeture pour la définition du SMPP. Le scénario le plus pénalisant et enveloppe de l'ensemble des scénarios SMPP est celui de la rupture totale de la faille de Poissons (Ms : 6,5 / Z : 13 km).

CAS DU SÉISME DU TEIL : UN ÉVÈNEMENT NON TRANSPOSABLE À LA RÉGION DE MEUSE/HAUTE-MARNE

En novembre 2019, un séisme de magnitude 5, s'est produit sur la commune du Teil près de Montélimar. Ce séisme inédit de par sa faible profondeur (entre 1 km et 3,5 km) s'est produit par l'activation d'une faille jusqu'alors considérée comme inactive. Dès lors, l'Autorité de sureté nucléaire et de radioprotection (ASNR) demande à ce que ce type de phénomène soit pris en compte dans l'évaluation de l'aléa sismique.

Pour rappel, le contexte sismotectonique de la région d'implantation du projet global Cigéo diffère significativement de celui de la vallée du Rhône où s'est produit le séisme du Teil. En effet, la vallée du Rhône, localisée au front même des chevauchements alpins plus à l'est, est caractérisée par une sismicité modérée et soutenue dans le temps (Larroque *et al.,* 2020 (84), Ritz *et al.,* 2020 (85)) avec des taux de déformation deux à trois ordres de grandeur supérieure à celui qui règne sur le Bassin parisien oriental (Tesauro *et al.,* 2006 (86)). Aussi le séisme du Teil s'est produit sur la faille de la Rouvière (Ritz *et al.,* 2020) qui appartient au système de failles bien connu des Cévennes. Certains segments de ce système de failles étaient suspectés d'une activité quaternaire non négligeable et étaient de fait considérer comme potentiellement actif par exemple la faille active de Marsanne localisée 2 km plus à l'est de celle de la Rouvière (base de données NEOPAL[18], base BDFA[19]).

De telles conditions sismotectoniques ne se retrouvent pas en partie orientale du Bassin parisien en termes de taux de déformation et d'activité sismique, et sur l'aire d'étude éloignée en termes d'activités anthropiques (absence de toute excavation à l'aplomb, voire même au voisinage immédiat des failles qui encadrent l'aire d'étude éloignée) ; ces deux conditions excluent de fait le déclenchement d'un tel séisme sur les failles du fossé de Gondrecourt par exemple.

[18] http://www.neopal.net

[19] https://bdfa.irsn.fr

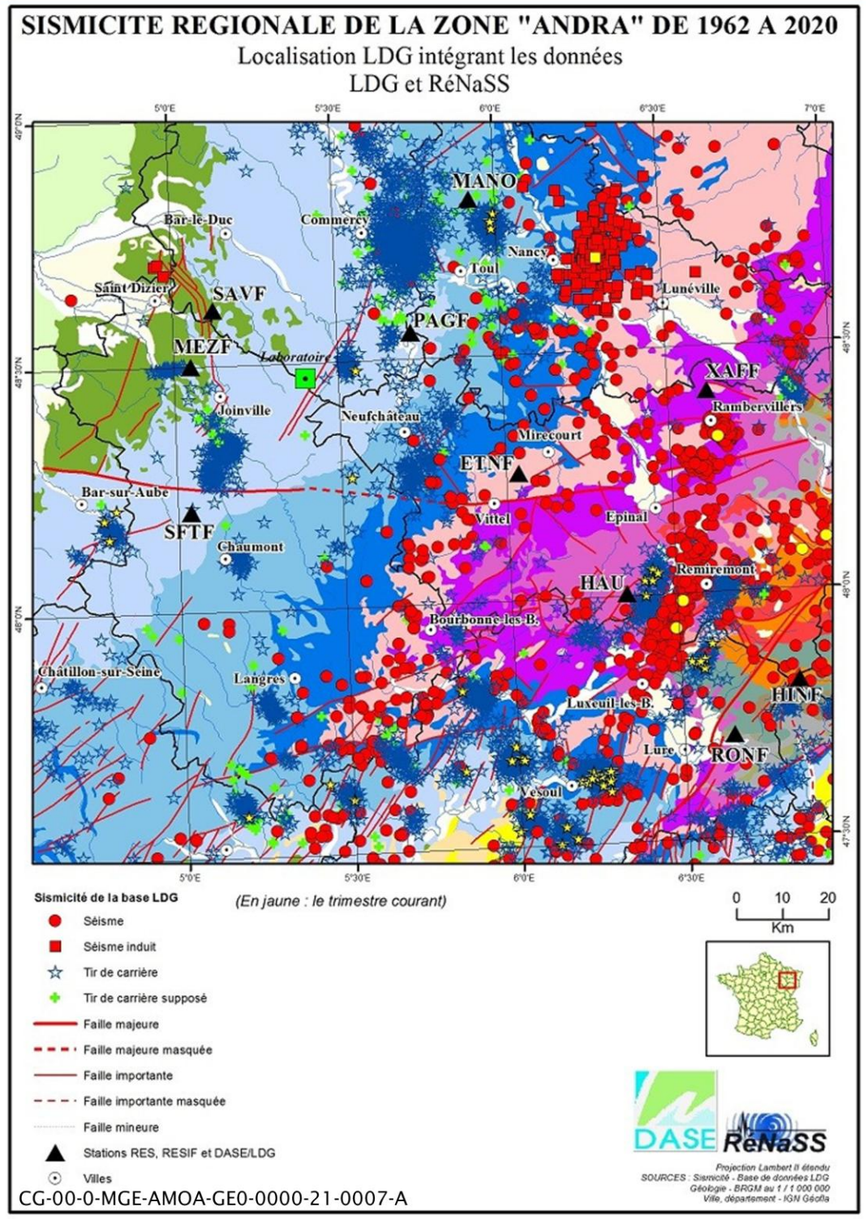


Figure 4-19 *Carte de la sismicité totale (naturelle, induite et tirs de carrière) de 1962 à 2020*

4.8 Synthèse concernant le sous-sol

- **Tectonique**

  L'aire d'étude éloignée du milieu physique s'implante à l'est du Bassin parisien qui est une zone remarquablement stable.

  Trois secteurs de failles, inactives depuis *a minima* 2,5 millions d'années et probablement 20 millions d'années, sont présents à l'ouest et au sud de l'aire d'étude éloignée du milieu physique :

  - ✓ les failles de socle de la Marne de direction nord-nord-ouest/sud-sud-est et les failles de couverture du fossé de Joinville de direction nord-est/sud-ouest ;
  - ✓ le faisceau « en queue de cheval » de failles de moyenne dimension de direction nord-ouest/sud-est formant la prolongation vers le sud du réseau de failles de la Marne et formant la zone dite de « fracturation diffuse » en bordure occidentale de la zone de transposition (ZT) ;
  - ✓ les failles de couverture du fossé de Gondrecourt-le-Château de direction nord-est/sud-ouest.

  Au cœur de cette aire d'étude rapprochée, la zone de transposition où vient s'implanter le centre de stockage Cigéo est exempte de faille détectable.

- **Stratigraphie**

  L'aire d'étude éloignée du milieu physique se situe sur la bordure orientale du Bassin parisien, constitué d'une alternance de formations sédimentaires à dominante argileuse et calcaire déposées entre 250 millions et 135 millions d'années.

  Le linéaire de la ligne 400 kV Houdreville – Méry, traverse les formations géologiques qui constituent les bordures extérieures du Bassin parisien. D'est en ouest, sont retrouvées : les formations du Lias plutôt marneuses, celles du calcaire du Dogger, celles du Jurassique supérieur puis celles plus tendres du Crétacé.

  Les formations géologiques présentes dans le sous-sol de l'aire d'étude éloignée du milieu physique sont, des plus récentes en surface aux plus anciennes en profondeur :

  - ✓ les formations quaternaires, principalement dans la vallée de l'Ornain ;
  - ✓ la formation du Jurassique terminal et du Crétacé indifférencié (partie inférieure de la formation du Valanginien) sur quelques points hauts ;
  - ✓ les Calcaires du Barrois d'une quarantaine de mètres d'épaisseur autour du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et présentant une karstification diffuse dans cette même zone ;
  - ✓ les Marnes du Kimméridgien sur environ 110 mètres d'épaisseur sous la zone puits ;
  - ✓ l'Oxfordien carbonaté sur près de 280 mètres d'épaisseur autour du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ;
  - ✓ le Callovo-Oxfordien entre 443 m et 594 m de profondeur sous la zone puits. Cette couche à dominante argileuse est homogène latéralement sur 350 km² ; l'agencement de sa structure minérale lui offre une très faible perméabilité et les minéraux argileux lui confèrent une forte capacité de rétention des radionucléides, ce qui notamment conduit à la sélectionner pour l'implantation de l'installation souterraine du stockage ;
  - ✓ les Calcaires du Dogger de plus de 200 mètres d'épaisseur.

  Ces formations présentent une inclinaison générale vers le centre du Bassin parisien soit un pendage d'environ 1,5° vers le nord-ouest. Les strates calcaires sont le lieu de circulations d'eau.

- **Caractéristiques radiologiques**

  Les éléments radioactifs présents dans les formations géologiques du sous-sol sont exclusivement d'origine naturelle. Les niveaux de radioactivité sont faibles et sont du niveau attendu dans ces types de formations géologiques. Le niveau de radioactivité naturelle mesurée sur l'eau dégazée du Callovo-Oxfordien est faible (environ 1 Bq/L).

- **Ressources naturelles du sous-sol**

  Aucun gisement particulier ou exceptionnel de ressources naturelles qu'il s'agisse de matériaux de carrière, de minerais, d'hydrocarbures ou de géothermie, n'est présent dans l'aire d'étude éloignée.

En dehors de l'aire d'étude éloignée, l'ancien gisement de pétrole de Forcelles dans la Meurthe et Moselle et le gisement de gaz des Trois-Fontaines-l'Abbaye converti en site de stockage en 2010 près de Saint-Dizier sont situés respectivement à environ 54 km à l'est-sud-est et à 39 km au nord-ouest.

- **Risques majeurs liés à la géologie**

  Quelques cavités naturelles sont identifiées en particulier au centre de l'aire d'étude éloignée du milieu physique.

  La ligne 400 kV Houdreville – Méry traverse deux grandes zones présentant un aléa fort de retrait-gonflement des argiles : la région du Saintois et celle du Pays du Der. Très ponctuellement, certains secteurs sont caractérisés par des aléas forts de retrait-gonflement des argiles.

  Le principal risque majeur lié à la géologie répertoriée dans l'aire d'étude éloignée du milieu physique est celui d'effondrement des cavités karstiques dans les calcaires du Barrois et il est qualifié de faible.

  Les affleurements d'argile font l'objet d'un aléa de retrait et gonflement des argiles. L'aléa fort est peu présent dans l'aire d'étude éloignée du milieu physique. Il est faible sur la butte du Chaufour et le bois Lejuc et il est moyen dans certaines vallées : l'Orge, l'Ornain et ses affluents dont l'Ormançon.

  L'ensemble de l'aire d'étude éloignée et de l'aire d'étude spécifique de la ligne électrique 400 kV est localisé en zone de sismicité 1 c'est-à-dire présentant une activité sismique qualifiée de « très faible ». Il est exclu toute variation de la tectonique à l'origine du déclenchement de séismes sur les failles avoisinantes.

  > Deux « essaims » de sismicité induite par les deux sites de stockage de gaz souterrain de Cerville situé à 70 km à l'est, et le site de Trois-Fontaines-l'Abbaye situé à plus de 40 km au nord-nord-ouest ont été reconnus.

  Malgré une activité sismique très faible, voire inexistante, un suivi de la sismicité est mené depuis 2001 afin de disposer de données précises sur la sismicité.

Enjeu

L'aire d'étude éloignée du milieu physique présente une grande stabilité tectonique et stratigraphique. Les caractéristiques du Callovo-Oxfordien sont performantes pour la rétention des éléments radioactifs. L'aire d'étude rapprochée n'est pas le lieu de risques naturels d'ampleur. Elle ne renferme pas de ressource géologique particulière ou exceptionnelle.

Enjeu faible

TABLEAU DE TRAÇABILITE DES PRINCIPALES EVOLUTIONS DE L'ETUDE 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 III 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 portant diverses réformes en matière d'évaluation environnementale et de participation du public dans le domaine de l'environnement (87) (remplacement du terme « état actuel » par « état initial »)
	Préambule	x				**EI-DAC1/EI-DR0/EI-DAC2/EI-DAC3**	Actualisation du tableau des volumes de la présente étude d'impact Précisions apportées dans la rédaction du bloc « Étude d'impact et projet global Cigéo »
1.	**Méthodologie d'analyse de l'état initial**	x				**EI-DR0**	Précisions apportées sur le périmètre de l'aire d'étude immédiate
2.2.1	**Contexte**			x		**EI-DAC1**	Actualisation du contexte réglementaire (ajout de précisions sur la loi Climat et Résilience)
2.2.2.3	**Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA)**		x			**EI-DR0**	Précision apportée sur le nouveau plan 2022-2025 avec : • ajout d'un tableau des objectifs à 2023 ; • ajout d'un paragraphe sur le secteur de l'industrie.
2.2.2.5	**Plan national santé environnement (PNSE)**		x			**EI-DAC1/EI-DR0**	Actualisation des éléments concernant le PNSE
2.2.3.1	**Plan climat air énergie territorial (PCAET)**		x			**EI-DAC1/EI-DR0**	Actualisation des éléments concernant le PCAET
2.2.3.3	**Plan régional santé environnement (PRSE) Grand Est**		x			**EI-DR0**	Précisions apportées sur le PRSE3 en cours d'élaboration
2.2.3.5	**Schéma régional de biomasse Grand Est**		x			**EI-DAC1/EI-DR0**	Précision apportée sur l'état d'avancement du SRB Grand Est
2.2.3.7	**Plan climat territorial (PCT) du Pays Barrois**		x			**EI-DR0**	Précisions apportées sur : • l'animation par le syndicat mixte ; • la réalisation d'un bilan carbone.

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 III 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*
2.3.1	Précipitations		x			EI-DAC1	Actualisation avec les données de 2018 et 2019
2.3.2	Températures		x			EI-DAC1/EI-DR0/ EI-DAC2	Actualisation avec les données 2018 et 2019 et ajout des données des stations de Cirfontaines et Houdelaincourt
2.3.3	Vitesse et direction du vent		x			EI-DAC1/EI-DAC2	Actualisation avec les données de la station de Houdelaincourt, complément sur les tornades
2.3.4	Hygrométrie		x			EI-DAC1	Actualisation avec les données 1980-2019
2.3.5	Durée d'ensoleillement		x			EI-DAC1	Actualisation avec les données de 2018 et 2019
2.3.6	Évapotranspiration		x			EI-DAC1	Actualisation avec les données 1980-2019
2.3.7	Risques météorologiques majeurs		x			EI-DAC1/EI-DR0	Actualisation avec les données 1980-2019 Ciblé sur les risques majeurs en lien avec DDRM
2.3.8	Changement climatique		x			EI-DAC1/ EI-DR0	Création d'un chapitre sur le changement climatique
2.3.9	Synthèse des conditions météorologiques locales		x			EI-DAC1/EI-DR0	Mise en cohérence de la synthèse avec les actualisations faites dans le chapitre
2.4.1	Profil énergétique		x			EI-DAC1/EI-DR0	Actualisation avec les données de 2022 relatives à la production et consommation d'énergie
2.4.2	Potentiel en énergies renouvelables		x			EI-DAC1/EI-DR0	Mise à jour avec les données de 2022 relatives à la production d'énergies renouvelables
2.4.3	Émissions de gaz à effet de serre		x			EI-DAC1/EI-DR0	Mise à jour avec les données de 2022 relatives aux émissions de gaz à effet de serre
2.4.4.2	La séquestration carbone au sein de l'aire d'étude éloignée		x			EI-DAC1/EI-DR0	Précisions apportées sur la capacité de séquestration carbone de l'aire d'étude éloignée et selon l'aire d'étude éloignée mise à jour
2.4.5	Synthèse sur l'énergie et les gaz à effet de serre		x			EI-DAC1/EI-DR0	Mise en cohérence de la synthèse avec les actualisations faites dans le chapitre du présent volume
2.5.1.1	Aires d'étude et origine des données		x			EI-DAC2	Complément des données avec celle d'ATMO Grand Est publiées en 2023
2.5.1.2	Polluants étudiés		x			EI-DAC1	Précisions apportées sur le contenu des chapitres 2.5.1.3 à 2.5.1.11 du présent volume
2.5.1.3	Synthèse de la qualité de l'air à l'échelle régionale		x			EI-DR0	Ajout d'une synthèse à l'échelle régionale qui reprend les éléments répartis par polluants à l'EI-DAC1 pour simplification (données ATMO Grand Est 2022)
2.5.1.4.1 2.5.1.4.2 2.5.1.4.3 2.5.1.4.4 2.5.1.4.5 2.5.1.4.6 2.5.1.4.7 2.5.1.4.8 2.5.1.4.9	Dioxyde d'azote (NO2) Dioxyde de soufre (SO2) Ozone (O3) Monoxyde de carbone (CO) Particules PM10 Particules PM2,5 Benzène Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)		x			EI-DAC1	Précisions apportées sur les évolutions à l'échelle régionale Actualisation avec les données de concentrations et des graphiques de la station de référence et celle de Houdelaincourt Ajout des données issues des campagnes de mesures du benzène réalisées à la station d'Houdelaincourt en 2020

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 III 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*
	Les éléments traces métalliques (ETM) : nickel, arsenic, plomb, cadmium						
2.5.2.1	**Généralités sur le bruit de fond radiologique**	**x**				**EI-DR0/EI-DAC3**	Ajout d'un paragraphe présentant le contexte de l'état initial radiologique présenté dans le cadre de la présente étude d'impact Précisions apportées en lien avec le rapport IRSN "Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020"
2.5.2.3.1a) **2.5.2.3.1b)** **2.5.2.3.2b)** **2.5.2.3.2c)** **2.5.2.3.2d)** **2.5.2.3.2f)** **2.5.2.3.2g)**	**3H (tritium)** **14C (carbone 14)** **7Be (beryllium 7) et 22Na (sodium 22)** **210Pb (plomb 210)** **137Cs (césium 137)** **90Sr (strontium 90)** **Actinides**	**x**	**x**			**EI-DAC1/EI-DAC2/EI-DAC3**	Actualisation avec les données de 2018 - 2020 de la station OPE/OPERA de Houdelaincourt Actualisation avec les données de 2019 - 2021 de la station OPE/OPERA de Houdelaincourt Précisions apportées en lien avec le rapport IRSN "Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020"
2.5.2.5	**Dosimétrie gamma**					**EI-DR0**	Ajout d'un paragraphe sur la dosimétrie gamma
2.5.2.6	**Synthèse**	**x**	**x**			**EI-DAC1/EI-DAC3**	Mise en cohérence de la synthèse avec les actualisations faites dans le chapitre 2.5.2 du présent volume Précisions apportées en lien avec le rapport IRSN "Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020"
2.5.3	**Synthèse de l'état initial de la qualité de l'air**		**x**			**EI-DAC1**	Mise en cohérence de la synthèse avec les actualisations faites dans le chapitre 2.5 du présent volume
3.2.1.2	**Un relief structuré par les lignes de côte et les cours d'eau**		**x**			**EI-DR0**	Précisions apportées à la description du relief de la vallée de la Marne
3.3	**Occupation et caractéristiques des sols**		**x**	**x**		**EI-DR0**	Mise à jour des chiffres et mise à jour de la définition de l'artificialisation des sols
3.3.2.2	**Distribution des types de sols**		**x**			**EI-DAC1/EI-DR0**	Précisions apportées à la description des types de sol dans l'aire d'étude immédiate Ajout d'une catégorie « autres sols » afin d'y mettre les sols soumis à excès d'eau Tableau élargi à l'aire d'étude éloignée
3.3.6	**Caractéristiques radiologiques des sols**	**x**	**x**			**EI-DAC1/EI-DR0/EI-DAC3**	Ajout d'un chapitre relatif aux sites de prélèvements. Création de deux sous-chapitres (radioactivité naturelle/radioactivité artificielle) et ajout de compléments Précisions apportées en lien avec le rapport IRSN "Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020"

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 III 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*
3.4.1	**Sites CASIAS (anciennement BASIAS)**		x			**EI-DAC1/EI-DR0**	Casias (et non plus Basias). Mise à jour du nombre de sites. Tableau mis à jour et cartes ajoutées. Le focus sur certains sites est supprimé. Le tableau lisant tous les sites CASIAS le long de la ligne SNCF a été mis en annexe. Celui-ci a été remplacé par des graphiques un du texte.
3.4.2	**Sites BASOL**		x			**EI-DR0**	Paragraphe mis à jour
3.4.4	**Autres sources de pollution potentielles**		x			**EI-DR0**	Paragraphe mis à jour/remanié
3.5	**Synthèse concernant les sols**		x			**EI-DAC1/EI-DR0**	Mise à jour de la synthèse
4.2.3	**Contexte tectonique de la zone d'intérêt pour la recherche approfondie et de la zone d'Implantation des ouvrages souterrains**		x			**EI-DAC1/EI-DAC2**	Précisions apportées sur les failles
4.3	**Stratigraphie**		x			**EI-DAC1**	Précisions apportées sur le contexte du Bassin parisien
4.3.2.3	**Calcaires du Barrois**		x			**EI-DAC1**	Précisions apportées sur les Calcaires du Barrois
4.3.2.6.3	Lixiviation et potentiel acidogène des argilites du Callovo-Oxfordien	x			x	**EI-DAC2**	Intégration des conclusions des tests de lixiviations complémentaires menés en 2023
4.3.2.6.4	**La structure interne des argilites du Callovo-Oxfordien**		x			**EI-DAC1**	Création d'un nouveau chapitre présentant la géochimie des eaux interstitielles du Callovo-Oxfordien, la perméabilité et le processus de diffusion
4.4.2	**Isotopes du thorium (Th) et de l'uranium (U)**		x			**EI-DAC1**	Correction des données relatives aux niveaux de radioactivité
4.6.2.1	**Le schéma régional et les schémas départementaux des carrières**			x		**EI-DAC2**	Mise à jour du paragraphe avec le schéma régional des carrières de la région Grand Est approuvé par arrêté préfectoral en date du 27/11/24 et abrogation des schémas départementaux des carrières de la Meuse de 2014 et de la Haute-Marne de 2003.
4.6.3	**Les minerais dans l'aire d'étude éloignée**		x			**EI-DAC1**	Précisions apportées sur les mines
4.6.6.2	**Caractérisation du potentiel géothermique de l'aire d'étude rapprochée**		x			**EI-DAC1**	Précisions apportées sur les études du potentiel géothermique du sous-sol (sans remise en cause des conclusions de l'Andra)
4.6.6	**La géothermie dans l'aire d'étude éloignée**		x			**EI-DR0**	Tableau des installations de géothermie de très basse énergie complété
4.7	**Risques majeurs liés à la géologie**		x			**EI-DR0**	On ne parle plus de risques « naturels » mais de risques « majeurs » Mise à jour de la définition pour être en cohérence avec chapitre 11 du présent volume
4.7.1.3	**Autres risques de mouvements de terrain**		x			**EI-DAC1**	Précisions apportées sur le risque de coulée de boue
4.7.2	**Risque sismique d'origine naturelle ou anthropique**				x	**EI-DAC2**	Complément apporté sur l'aléa sismique suite à l'instruction DR0
4.8	**Synthèse concernant le sous-sol**		x			**EI-DAC1**	Mise en cohérence avec les actualisations faites dans le chapitre

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1-1 Aire d'étude immédiate et aire d'étude spécifique à l'opération de sécurisation de la ligne aérienne 400 kV 9
Figure 2-1 Localisation des stations météorologiques de référence 12
Figure 2-2 SRADDET, le schéma des schémas 15
Figure 2-3 Axes, règles et mesures d'accompagnement présentés dans le SRADDET Grand Est (20) 16
Figure 2-4 Évolution du cumul annuel moyen de précipitations à Houdelaincourt, à Cirfontaines et à Saint-Dizier (1980-2019) 20
Figure 2-5 Moyennes des précipitations mensuelles (mm) à Houdelaincourt et Saint-Dizier pour la période 2012-2019 20
Figure 2-6 Évolution des températures moyennes annuelles (en degrés °C) mesurées à Saint-Dizier (1980-2019), à Cirfontaines (1980-2019) et à Houdelaincourt (2012-2019) 22
Figure 2-7 Variation moyenne mensuelle de la température sur la période du 01/01/2015 au 31/12/2019, à la station d'Houdelaincourt 23
Figure 2-8 Rose des vents de Saint-Dizier, période 1999-2019 (haut à gauche), période 2012-2019 (haut à droite), et de Houdelaincourt période 2012-2019 (bas) 23
Figure 2-9 Carte des tornades ayant eu lieu en France entre 1680 et 2018 recensées et validées par l'observatoire Keraunos. Source : Keraunos 24
Figure 2-10 Vents maximums enregistrés en France le 26/12/1999 25
Figure 2-11 Durées d'ensoleillement moyen (en heures) à Saint-Dizier (1980-2019) 25
Figure 2-12 Durées d'ensoleillement moyen (en heures) à Houdelaincourt (2012-2020) 26
Figure 2-13 Schématisation de l'évapotranspiration 26
Figure 2-14 Production d'énergie renouvelable en région Grand Est par filière en 2021 (35) 29
Figure 2-15 Schématisation de l'effet de serre 30
Figure 2-16 Émissions directes de gaz à effet de serre de la région Grand Est en 2020 (tCO_2e) 31
Figure 2-17 Émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre du Pays Barrois en 2020 (tCO_2e) 32
Figure 2-18 Carte de la capacité de séquestration carbone dans l'aire d'étude éloignée du milieu physique 33
Figure 2-19 Qu'est-ce que la pollution de l'air ? 34
Figure 2-20 Localisation des points de mesures de la qualité de l'air 36
Figure 2-21 Sectorisation des émissions de NOx en 2019 37
Figure 2-22 Évolution des teneurs annuelles en NO_2 et des maximas horaires à Houdelaincourt (2011-2020) 37
Figure 2-23 Sectorisation des émissions de SO_2 en 2019 38
Figure 2-24 Évolution des teneurs moyennes annuelles en SO_2 et des maximas horaires à Houdelaincourt (2011-2020) 38
Figure 2-25 Évolution de l'AOT40 et du maximum journalier sur huit heures en O_3 à Houdelaincourt (2011-2020) 39
Figure 2-26 Sectorisation des émissions de CO en 2019 39
Figure 2-27 Évolution des concentrations annuelles et des moyennes glissantes maximales sur huit heures en CO à Houdelaincourt (2011-2020) 39
Figure 2-28 Sectorisation des émissions de PM_{10} en 2019 40
Figure 2-29 Évolution des concentrations annuelles et des maxima journaliers en PM_{10} à Houdelaincourt (2011-2020) 40
Figure 2-30 Sectorisation des émissions de $PM_{2,5}$ en 2019 40
Figure 2-31 Évolution des concentrations en $PM_{2,5}$ sur Houdelaincourt (2012-2018) 41
Figure 2-32 Sectorisation des émissions de benzène en 2019 41
Figure 2-33 Concentrations moyennes obtenues en benzène par campagne de mesures à Houdelaincourt en 2020 41
Figure 2-34 Émissions des HAP par secteur d'activité en 2017 42
Figure 2-35 Valeurs minimales et maximales obtenues en HAP (ng/m³) dans les PM_{10} à Houdelaincourt en 2020 42
Figure 2-36 Sectorisation des émissions des éléments traces métalliques en 2019 42
Figure 2-37 Teneurs moyennes obtenues en éléments traces métalliques dans les PM_{10} à Houdelaincourt en 2020 43
Figure 2-38 Évolution des concentrations en nickel dans les PM10 à Houdelaincourt (2012-2020) 43
Figure 2-39 Évolution des concentrations en arsenic dans les PM10 à Houdelaincourt (2012-2020) 43
Figure 2-40 Évolution des concentrations en cadmium dans les PM10 à Houdelaincourt (2012-2020) 43
Figure 2-41 Évolution des concentrations en plomb dans les PM10 à Houdelaincourt (2012-2020) 44
Figure 2-42 Localisation des mesures ponctuelles de débit de dose gamma et d'exhalation radon 48
Figure 2-43 Niveaux de radioactivité moyens mesurés dans l'air en France (43) et à la station d'Houdelaincourt 49
Figure 3-1 Carte géologique simplifiée du Bassin parisien (Mégnien et al., 1980 (48-50)) 52
Figure 3-2 Coupe géologique simplifiée (AB) orientée ONO/ESE du Bassin parisien (Perrodon., 1990 (51)) 53
Figure 3-3 Relief de côte ou de cuesta 53
Figure 3-4 Succession des lignes de côtes de la bordure est du Bassin parisien 54
Figure 3-5 Reliefs traversés par la ligne électrique 400 kV 55
Figure 3-6 Carte topographique - Partie sud 57
Figure 3-7 Carte topographique - Partie nord 58
Figure 3-8 Occupation du sol (Corine land cover, 2018 (52) 60
Figure 3-9 Schématisation des étapes de la formation d'un sol 61
Figure 3-10 Carte pédo logique du Référentiel régional pédologique (RRP), au 1/250 000, au niveau de l'aire d'étude éloignée 63
Figure 3-11 Carte pédo logique au 1/50 000 au niveau de la zone d'intervention potentielle du centre de stockage Cigéo 65
Figure 3-12 Légende de la carte pédo logique au 1/50 000 66
Figure 3-13 Chaînes de désintégration de l'Uranium-238, du Thiorium-232 et de l'Uranium-235 68
Figure 3-14 Schéma de synthèse de l'équilibre séculaire 68
Figure 3-15 Comparaison des activités massiques entre les sols OPE et les sols français d'après IRSN 69
Figure 3-16 Nombre de sites CASIAS par commune dans la partie est et nord-est de l'aire d'étude immédiate, le long de la ligne ferroviaire 027000 70
Figure 3-17 Répartition des sites CASIAS par typologie dans la partie est et nord-est de l'aire d'étude immédiate, le long de la ligne ferroviaire 027000 70
Figure 3-18 Recensement des sites CASIAS dans l'aire d'étude immédiate (source : CASIAS) 71

Figure 3-19 Décharge de Gondrecourt-le-Château avant les travaux de dépollution menés par l'Andra en 2019 73
Figure 4-1 Les différentes aires d'étude du facteur sous-sol 77
Figure 4-2 Constitution du globe terrestre 78
Figure 4-3 Contexte géodynamique de la plateforme ouest-européenne (et de la France) au droit de la collision Europe/Afrique 78
Figure 4-4 Interprétation du profil pétrolier 88BIE02 montrant l'amortissement du fossé de Gondrecourt en profondeur au toit du Permien (cf. Figure 4-5 pour la localisation) 79
Figure 4-5 Contexte tectonique local 81
Figure 4-6 Chartre chronostratigraphique internationale 82
Figure 4-7 Bloc diagramme géologique du Bassin parisien 83
Figure 4-8 Carte géologique simplifiée le long de la ligne électrique 400 kV 84
Figure 4-9 Succession schématique des formations géologiques de l'aire d'étude éloignée 85
Figure 4-10 Carte géologique simplifiée de l'aire d'étude éloignée 85
Figure 4-11 Argilites du Callovo-Oxfordien 87
Figure 4-12 Unités géologiques représentatives du Callovo-Oxfordien : unité argileuse (UA), unité de transition (UT) et unité silto-carbonatée (USC). Les limites géologiques du Callovo-Oxfordien sont données par les surfaces stratigraphiques LS0 et SNC 88
Figure 4-13 Les différents types de géothermie (BRGM) 95
Figure 4-14 Risques géologiques 97
Figure 4-15 Risque lié au retrait/gonflement des argiles le long de la ligne électrique 400 kV 99
Figure 4-16 Zonage sismique en France et instrumentale (base SiHex – Cara et al., 2015 à droite) (81, 82) 100
Figure 4-17 Sismicité historique (base SisFrance à gauche) et instrumentale (base SiHex – Cara et al., 2015 à droite (81, 82)) et localisation de la région de Meuse/Haute-Marne 100
Figure 4-18 Carte de la sismicité naturelle de la « zone Andra » sur la période 1962- 2020 sur fond géologique (trimestre courant : octobre-novembre-décembre 2020) 101
Figure 4-19 Carte de la sismicité totale (naturelle, induite et tirs de carrière) de 1962 à 2020 102

Tableaux

Tableau 2-1 La PPE 2019-2028 en quelques chiffres 13
Tableau 2-2 Le PPE 2019-2028 en quelques chiffres 14
Tableau 2-3 Règles et mesures du chapitre climat-air-énergie du SRADDET Grand Est 17
Tableau 2-4 Orientations et objectifs du Schéma régional de biomasse Grand Est 18
Tableau 2-5 Cumuls annuels de précipitations à Houdelaincourt, Saint-Dizier et Cirfontaines-en-Ornois (2012-2019) 20
Tableau 2-6 Nombre de jours pluvieux moyen par mois à Saint-Dizier (1981 - 2010)* 21
Tableau 2-7 Hauteurs quotidiennes maximales de précipitations (mm) enregistrées à Saint-Dizier (avril 1954- septembre 2020) 21
Tableau 2-8 Nombre moyen de jour de brouillard, d'orage, de grêle ou de neige à Saint-Dizier (1981-2010)* 21
Tableau 2-9 Températures moyennes annuelles enregistrées à Saint-Dizier et à Houdelaincourt (2012-2019) 22
Tableau 2-10 Extrema de température enregistrés à Saint-Dizier sur la période de juin 1953 à septembre 2020 22
Tableau 2-11 Moyenne des humidités relatives mensuelles (en %) à Saint-Dizier (1980-2019) 25
Tableau 2-12 Bilan de la production énergétique (GWh) du Pays Barrois (2020) par vecteur 28
Tableau 2-13 Consommation d'énergie (en GWh) dans le Pays Barrois (2020) par source 29
Tableau 2-14 Consommation d'énergie (en GWh) dans le Pays Barrois (2020) par secteur 29
Tableau 2-15 Production d'énergies renouvelables dans le Pays Barrois par filière (2020) (38) 30
Tableau 2-16 Capacité de séquestration carbone par l'écosystème 32
Tableau 2-17 Liste des principaux éléments radioactifs mesurés dans l'air 45
Tableau 2-18 Niveaux de radioactivité dans les dépôts atmosphériques recueillis à la station d'Houdelaincourt (2019-2021) 47
Tableau 2-19 Synthèse des niveaux radioactivité mesurés dans l'air à la station atmosphérique d'Houdelaincourt 49
Tableau 3-1 Caractéristiques des unités de sols de la carte pédologique au 1/250 000 sur l'aire d'étude éloignée 64
Tableau 3-2 Liste des éléments radioactifs recherchés dans les sols 67
Tableau 3-3 Niveaux de radioactivité mesurés dans les sols de l'aire d'étude rapprochée du milieu physique (prélèvements en 2010) 69
Tableau 3-4 Sites industriels et activités de service de la base de données CASIAS localisés dans la partie sud et sud-est de l'aire d'étude immédiate et à l'amont hydraulique proche du centre de stockage 72
Tableau 4-1 Correspondance des formations géologiques aux dénominations locales présentes dans la représentation schématique des formations géologiques et les formations géologiques à l'affleurement présentées sur la carte géologique 86
Tableau 4-2 Composition chimique (moyenne ± écart-type) des argilites de la couche géologique du Callovo-Oxfordien 89
Tableau 4-3 Valeurs moyennes ± écart-type des résultats de tests de lixiviation (en mg/kg de matière sèche, analyses sur éluat selon NF EN 12457-2) réalisés sur les argilites excavées à différents états d'altération. N.D. : non déterminé. 90
Tableau 4-4 Composition géochimique des eaux issues de l'expérience PAC et celle déterminée par modélisation (modèle Thermoar de Gaucher et al., 2009 (71)) 91
Tableau 4-5 Synthèse des niveaux de radioactivité mesurés dans le sous-sol (prélèvements d'échantillons effectués entre 1994 et 2008, mesures par ICP-MS pour U et Th) 92
Tableau 4-6 Niveaux de radioactivité dans l'eau du Callovo-Oxfordien (mesures effectuées sur un échantillon d'eau provenant du forage GIS1002) 93
Tableau 4-7 Activité liée au radon 222 mesurée sur un échantillon de gaz à l'équilibre avec la roche du Callovo-Oxfordien (forage POX1201) 93
Tableau 4-8 Installations de géothermie de très basse énergie sur la ZT et au-delà 95

REFERENCES 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 Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte. Assemblée nationale; Sénat (2015). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVX1413992L.

4 Loi n° 2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat. Assemblée nationale; Sénat (2019). Journal officiel de la République française (JORF), N°TREX1911204L.

5 Arrêté du 10 mai 2017 établissant le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des Relations internationales sur le climat (2017). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVR1707177A.

6 Stratégie nationale bas-carbone (SNBC). Ministère de la Transition écologique et solidaire (2022). Consulté le 03/01/2023. Disponible à l'adresse : https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc.

7 Programmations pluriannuelles de l'énergie (PPE). Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires; Ministère de la Transition énergétique (2023). Consulté le 08/06/2023. Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe.

8 Loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets. Assemblée nationale; Sénat (2021). Journal officiel de la République française (JORF), N°TREX2100379L.

9 Décret n° 2016-1442 du 27 octobre 2016 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des Relations internationales sur le climat (2016). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVR1619015D.

10 Décret n° 2020-456 du 21 avril 2020 relatif à la programmation pluriannuelle de l'énergie. Ministère de la Transition écologique et solidaire (2020). Journal officiel de la République française (JORF), N°TRER2006667D.

11 Décret n° 2020-457 du 21 avril 2020 relatif aux budgets carbone nationaux et à la stratégie nationale bas-carbone. Ministère de la Transition écologique et solidaire (2020). Journal officiel de la République française (JORF), N°TRER2008021D.

12 Décret n° 2017-949 du 10 mai 2017 fixant les objectifs nationaux de réduction des émissions de certains polluants atmosphériques en application de l'article L. 222-9 du code de l'environnement. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des Relations internationales sur le climat (2017). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVR1707211D.

13 Arrêté du 8 décembre 2022 établissant le plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques. Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires (2022). Journal officiel de la République française (JORF), N°TRER2234788A.

14 Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) pour la période 2022-2025. Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires; Ministère de la Transition énergétique (2022). Consulté le 02/01/2023. Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/plan-national-reduction-des-emissions-polluants-atmospheriques-prepa-periode-2022-2025.

15 Réunion du Groupe Santé Environnement : présentation du 4e plan national santé environnement. Ministère des Solidarités et de la Santé (2020). Consulté le 2021. Disponible à l'adresse : https://solidarites-sante.gouv.fr/actualites/actualites-du-ministere/article/reunion-du-groupe-sante-environnement-presentation-du-4e-plan-national-sante.

16 4e Plan national santé environnement - Rapport d'avancement 2021-2022. Gouvernement (2022). 50 p. Disponible à l'adresse : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/27.10.2022_Rapport%20PNSE4.pdf.

17 Plan climat air énergie territorial du Pays Barrois : rapport de stratégie. Pays Barrois (2022). 50 p. Disponible à l'adresse : https://www.planclimat-paysbarrois.com/library/userfiles/PaysBarrois_StrategiePCAET_V02-2022.pdf.

18 Avis délibéré sur le projet d'élaboration du plan climat-air-énergie territorial (PCAET) du Pays Barrois (55). Mission régionale d'autorité environnementale (2023). N°MRAe 2023AGE23. 29 p. Disponible à l'adresse : https://www.mrae.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2023age23.pdf.

19 Plan climat air énergie territorial du Pays Barrois : rapport de diagnostic. Pays Barrois (2021). 158 p. Disponible à l'adresse : https://www.planclimat-paysbarrois.com/library/userfiles/2021_03_Diagnostic_PCAET_VF.pdf.

20 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.

21 Santé environnement Grand Est - 3ème plan régional 2017>2021. Région Grand Est (2017).

22 Plan régional santé environnement 2017-2021 - 4 années d'actions en Grand Est ! Région Grand Est (2021). 2 p. Disponible à l'adresse : https://www.grand-est.prse.fr/IMG/pdf/document_synthese_prse_grand_est_va3-2.pdf.

23 Plan régional santé environnement Grand Est - Le bilan du PRSE 3 est paru ! Région Grand Est (2022). Consulté le 02/01/2023. Disponible à l'adresse : https://www.grand-est.prse.fr/le-bilan-du-prse-3-est-paru-a346.html.

24 Le Schéma régional biomasse Grand Est approuvé. Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) Grand Est (2021). Consulté le 19/12/2022. Disponible à l'adresse : http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/le-schema-regional-biomasse-grand-est-est-approuve-a20400.html.

25 Programme régional de la forêt et du bois de la région Grand Est 2018-2027. Préfecture de la région Grand Est; Fibois Grand Est (2019). 201 p. Disponible à l'adresse : http://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/2019_10_30_PRFB_Grand_Est_vF1_cle8b9f81.pdf.

26 Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires - Annexe 7 - Plan régional de prévention et de gestion des déchets (PRPGD). Grand Est Territoires (2019). 836 p. Disponible à l'adresse : https://www.grandest.fr/wp-content/uploads/2019/11/sraddet-ge-annexe7-prpgd-vdef.pdf.

27 Schéma de cohérence territoriale du Pays Barrois : dossier SCoT approuvé. Pays Barrois (2014). 541 p. Disponible à l'adresse : http://www.paysbarrois.com/les-missions-du-pays-barrois/schema-de-coherence-territoriale-scot/les-documents-du-scot.

28 Pays Barrois - Actions en cours ou réalisées - Évaluation du Plan Climat. Pays Barrois (2023). Consulté le 02/06/2023. Disponible à l'adresse : http://www.paysbarrois.com/les-missions-du-pays-barrois/plan-climat-territorial/actions-en-cours-ou-realisees.

29 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.

30 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.

31 Jouzel, J., Ouzeau, G., Déqué, M., Jouini, M., Planton, S., Vautard, R. Le climat de la France au XXIe siècle - Volume 4 : scénarios régionalisés - Édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2014). 64 p. Disponible à l'adresse : https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/144000543.pdf.

32 Chiffres clés 2018 : consommations et productions d'énergie, émissions de GES et de polluants, vulnérabilité (Région Grand Est). Atmo Grand Est (2020). N°ACC-EN-251. 72 p. Disponible à l'adresse : http://www.atmo-grandest.eu/sites/prod/files/2020-10/Observatoire%20chiffres%20cl%C3%A9s%202018%20%C3%A9dition%202020.pdf.

33 Les Chiffres-clés en un clin d'œil (édition 2022) : SCOT du Pays Barrois. Observatoire climat air énergie Grand Est; Atmo Grand Est (2022). 4 p. Disponible à l'adresse : https://observatoire.atmo-grandest.eu/wp-content/uploads/publications/chiffres_cles_1_clin_oeil_2020_scot_SCOT%20du%20pays%20Barrois.pdf.

34 Bilan année 2022 - Panorama des énergies renouvelables et de récupération en région Grand Est (édition 2023). Observatoire climat air énergie Grand Est (2023). 60 p. Disponible à l'adresse : https://www.climaxion.fr/sites/climaxion/files/actualites/2023-panorama_enr-w-vf.pdf.

35 Bilan année 2019 - Panorama des énergies renouvelables et de la récupération en région Grand Est -Edition 2020. Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) Grand Est (2020). 52 p. Disponible à l'adresse : http://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/2020-panorama_enr-impf.pdf.

36 Diagnostic Bilan Carbone® - Approche Territoire et évaluation du plan climat territorial du Pays Barrois - Rapport final. Ecota Conseil; B&L évolution (2014). 213 p. Disponible à l'adresse : http://www.paysbarrois.com/files/rapport-final-evaluation-pct-2013.pdf.

37 Structuration de la filière bois. Pays Barrois (2020). Consulté le 18/02/2021. Disponible à l'adresse : http://www.paysbarrois.com/les-actions-sur-le-territoire/valorisation-des-ressources-locales/structuration-de-la-filiere-bois.

38 Les Chiffres-clés en un clin d'oeil (édition 2022) : Grand Est. Observatoire climat air énergie Grand Est; Atmo Grand Est (2022). 4 p. Disponible à l'adresse : https://observatoire.atmo-grandest.eu/wp-content/uploads/publications/chiffres_cles_1_clin_oeil_2020_reg_Grand%20Est.pdf.

39 Chiffres clés 2017 : consommations et productions d'énergie, émissions de GES et de polluants - Région Grand Est. Atmo Grand Est (2019). 72 p. Disponible à l'adresse : https://observatoire.atmo-grandest.eu/wp-content/uploads/publications/Chiffres_cl%C3%A9s_Ed2019_Region_20191113.pdf.

40 Bilan de la qualité de l'air Grand Est 2022. Atmo Grand Est (2022). 36 p. Disponible à l'adresse : https://www.atmo-grandest.eu/actualite/le-bilan-annuel-2022-de-la-qualite-de-lair-dans-le-grand-est.

41 Évaluation de la qualité de l'air ambiant à Houdelaincourt en 2020 - Observatoire pérenne de l'environnement (OPE). Atmo Grand Est (2021). N°SURV-EN-489_2. 52 p. Disponible à l'adresse : https://www.atmo-grandest.eu/sites/grandest/files/medias/documents/2023-02/SURV-EN-489_V2.pdf.

42 Bilan qualité de l'air Grand Est 2020. Atmo Grand Est (2020). 46 p. Disponible à l'adresse : http://www.atmo-grandest.eu/document/2628.

43 Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de 2018 à 2020. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2021). N°2021-00765. 408 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/sites/default/files/documents/expertise/rapports_expertise/IRSN-ENV_Bilan-Radiologique-France-2018-2020.pdf.

44 Measurement of Radionuclides in Food and the Environment. International Atomic Energy Agency (IAEA) (1989). N°295. 182 p. Disponible à l'adresse : https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/trs295_web.pdf.

45 Ionizing radiation: sources and biological effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) (1982). 770 p. Disponible à l'adresse : http://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR_1982_Report.pdf.

46 Origines de la radioactivité - Les principaux radionucléides artificiels présents dans l'environnement en France. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2020). Consulté le 18/03/2022. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Environnement/radioactivite-environnement/sources-radioactivite/Pages/5-radionucleides-artificiels-environnement-France.aspx.

47 Espace cartographique : Siges Seine-Normandie. Siges Seine-Normandie (2019). Consulté le 18/12/2019. Disponible à l'adresse : http://sigessn.brgm.fr/?page=carto.

48 Mégnien, C., Mégnien, F. Synthèse géologique du bassin de Paris - Volume 1 : stratigraphie et paléographie. Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) (1980). Mémoires du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM). Vol. n° 101. ISBN : 2715950055.

49 Mégnien, C., Debrand-Passard, S. Synthèse géologique du bassin de Paris - Volume 2 : atlas. Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) (1980). Mémoires du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM). Vol. n° 102. ISBN : 2715950063.

50 Mégnien, C., Mégnien, F. Synthèse géologique du bassin de Paris - Volume 3 : lexique des noms de formation. Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) (1980). Mémoires du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM). Vol. n° 103. ISBN : 27715950071.

51 Perrodon, A., Zabek, J. Paris Basin. American association of petroleum geologists (AAPG) Memoir (1990). Vol. 51, pp.633-679.

52 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.

53 Artificialisation des sols. Gouvernement (2016). Consulté le 17/05/2023. Disponible à l'adresse : https://www.gouvernement.fr/indicateur-artificialisation-sols.

54 Baize, D., Girard, M., Association française pour l'étude du sol. Référentiel pédologique 2008. Éditions Quae (2009). Savoir-faire. ISBN : 9782759201853.

55 Référentiel régional pédologique du département de Haute-Marne. Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) (2013). Consulté le 14/09/2022. Disponible à l'adresse : https://agroenvgeo.data.inra.fr/geonetwork/srv/fre/catalog.search#/metadata/9901980c-dfcf-5471-b335-20b2fcee1b30.

56 Référentiel régional pédologique pour le Grand Est. Chambre régionale d'agriculture Grand Est (Crage) (2016). Consulté le 14/09/2022. Disponible à l'adresse : https://grandest.nosterritoires.fr/adws/app/f5dbb9ff-4e09-11e8-b0c4-312c65e710a1/.

57 Bilan de l'état radiologique de l'environnement français de juin 2011 à décembre 2014. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2015). 253 p. Disponible à l'adresse : https://www.mesure-radioactivite.fr/sites/default/files/FichiersIRSN/BR/IRSN-ENV_Bilan-Radiologique-France-2011-2014_FR.pdf.

58 Bases de données. Géorisques (2023). Consulté le 15/05/2023. Disponible à l'adresse : https://www.georisques.gouv.fr/donnees/bases-de-donnees.

59 Fiche détaillée Fonderies de Joinville Crassier (CHA5200367). Géorisques (2022). Consulté le 15/05/2022. Disponible à l'adresse : https://fiches-risques.brgm.fr/georisques/basias-detaillee/CHA5200367.

60 Tectonique. Geowiki (2010). Consulté le 21/06/2020. Disponible à l'adresse : https://www.geowiki.fr/index.php?title=Tectonique&oldid=25304.

61 Bergerat, F., Elion, P., Frizon de Lamotte, D., Proudhon, B., Combes, P., André, G., Willeveau, Y., Laurent-Charvet, S., Kourdian, R., Lerouge, G., Ott D'Estevou, P. 3D multiscale structural analysis of the Eastern Paris Basin: the Andra contribution. Mémoires de la Société Géologique de France (2007). Vol. 178, pp.15-35.

62 Pagel, M., Bonifacie, M., Schneider, D.A., Gautheron, C., Brigaud, B., Calmels, D., Cros, A., Saint-Bezar, B., Landrein, P., Sutcliffe, C., Davis, D., Chaduteau, C. Improving paleohydrological and diagenetic reconstructions in calcite veins and breccia of a sedimentary basin by combining Δ47 temperature, δ 18Owater and U-Pb age. Chemical geology (2018). Vol. 481, pp.1-17.

63 Pisapia, C., Deschamps, P., Battani, A., Buschaert, S., Guihou, A., Hamelin, B., Bruhlet, J. U/Pb dating of geodic calcite: new insights on Western Europe major tectonic events and associated diagenetic fluids. Journal of the Geological Society of London (2017). Vol. 175, N°1, pp.60-70.

64 Lettre CODEP-DRC-2011-002092 du 1er juin 2011 relative à l'examen du "Dossier 2009" relatif au projet HA, MA-VL. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2011). N°CODEP-DRC-2011-002092.

65 Gaucher, E., Robelin, C., Matray, J.-M., Négrel, G., Gros, Y., Heitz, J.F., Vinsot, A., Rebours, H., Cassagnabere, A., Bouchet, A. Andra underground research laboratory: Interpretation of the mineralogical and geochemical data acquired in the Callovian-Oxfordian formation by investigative drilling. Physics and Chemistry of the Earth (2004). Vol. 29, N°1, pp.55-77.

66 Belcourt, O. La perturbation chimico-minéralogique (hydratation, état d'oxydation et eau interstitielle) de la zone perturbée excavée et ses relations avec la perturbation texturale et mécanique : application aux argilites des galeries de Bure (2009). Université Henri Poincaré - Nancy 1. Thèse de doctorat, spécialité Géosciences. 339 p.

67 Marty, N., Lach, A., Lerouge, C., Grangeon, S., Claret, F., Fauchet, C., Madé, B., Lundy, M., Lagroix, F., Tournassat, C., Tremosa, J. Weathering of an argillaceous rock in the presence of atmospheric conditions: a flow-through experiment and modelling study. Applied geochemistry (2018). Vol. 96, pp.252-263.

68 Arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets inertes dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2014). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP1412523A.

69 Caractérisation des déchets - Lixiviation - Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues - Partie 2 : essai en bâchée unique avec un rapport liquide-solide de 10 l/kg et une granularité inférieure à 4 mm (sans ou avec réduction de la granularité). Association française de normalisation (Afnor) (2002), NF EN 12457-2.

70 Caractérisation des déchets - Essai statique pour la détermination du potentiel de génération d'acide et du potentiel de neutralisation des déchets sulfurés. Association française de normalisation (Afnor) (2011), NF EN 15875.

71 Gaucher, E., Tournassat, C., Pearson, F., Blanc, P., Crouzet, C., Lerouge, C., Altmann, S. A robust model for pore-water chemistry of clayrock. Geochimica et Cosmochimica Acta (2009). Vol. 73, N°21, pp.6470-6487.

72 Le socle de connaissances scientifiques et techniques de Cigéo - Les référentiels de connaissances. Tome II du référentiel de site - Bilan des observations de l'OPE sur l'état de l'environnement de surface. Andra (2022). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-ESE-0000-20-0018.

73 Loi n° 2014-366 du 24 mars 2014 pour l'accès au logement et un urbanisme rénové. Assemblée nationale; Sénat (2014). Journal officiel de la République française (JORF), N°ETLX1313501L.

74 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.

75 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.

76 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).

77 Arrêté préfectoral n° 2011-Mi-001 du 18 octobre 2011 autorisant la société ALPHAROC, dont le siège social est au 11 rue Claude Chappe à Metz (57070), à utiliser des explosifs dès réception dans la carrière exploitée par la société CALIN sur le territoire de la commune de Gondrecourt-le-Château. Préfecture de la Meuse (2011). Recueil des actes administratifs de la préfecture de la Meuse, N°18, pp.1062-1065.

78 Potentiel géothermique du site de Meuse/Haute-Marne. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN) (2014). N°RT/PRP-DGE/2014-00067. 32 p. Disponible à l'adresse : https://www.irsn.fr/FR/expertise/rapports_expertise/Documents/surete/IRSN-Rapport-2014-00067.pdf.

79 RFS I.1.c du 31 mai 2001 - Détermination du risque sismique pour la sûreté des installations nucléaires de base de surface. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (2001). Règles fondamentales de sûreté relatives aux installations nucléaires de base autres que réacteurs.

80 Règle n° III.2.f du 10 juin 1991 - Définition des objectifs à retenir dans les phases d'études et de travaux pour le stockage définitif des déchets radioactifs en formation géologique profonde afin d'assurer la sûreté après la période d'exploitation du stockage. Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (1991). Règles fondamentales de sûreté relatives aux installations nucléaires de base autres que réacteurs.

81 Denieul, M., Sèbe, O., Cara, M., Cansi, Y. Mw Estimation from Crustal Coda Waves Recorded on Analog Seismograms. Bulletin of the Seismological Society of America (2015). Vol. 105, N°2A, pp.831-849.

82 Cara, M., Cansi, Y., Schlupp, A., Arroucau, P., Bethoux, N., Beucler, E., Bruno, S., Calvet, M., Chevrot, S., Deboissy, A., Delouis, B., Denieul, M., Deschamps, A., Doubre, C., Frechet, J., Godey, S., Golle, O., Grunberg, M., Guilbert, J., Haugmard, M., Jenatton, L., Lambotte, S., Leobal, D., Maron, C., Mendel, V., Merrer, S., Macquet, M., Mignan, A., Mocquet, A., Nicolas, M., Perrot, J., Potin, B., Sanchez, O., Santoire, J.-P., Sèbe, O., Sylvander, M., Thouvenot, F., Van der Woerd, J., Van der Woerd, K. SI-Hex: a new catalogue of instrumental seismicity for metropolitan France. Bulletin de la société géologique de France (2015). Vol. 186, N°1, pp.3-19.

83 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_.

84 Larroque, C., Ampuero, J.-P., Cornou, C. Aux origines du séisme du Teil. La recherche (2020), N°561, pp.94-97.

85 Ritz, J.-F., Baize, S., Ferry, M., Larroque, C., Audin, L., Delouis, B., Mathot, E. Surface rupture and shallow fault reactivation during the 2019 Mw 4.9 Le Teil earthquake, France. Communications Earth & Environment (2020). Vol. 1, N°1.

86 Tesauro, M., Hollenstein, C., Egli, R., Geiger, A., Kahle, H.-G. Analysis of central Western Europe deformation using GPS and seismic data. Journal of Geodynamics (2006). Vol. 42, N°4-5, pp.194-209.

87 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