RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ANDRA

2026

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

PIÈCE 7

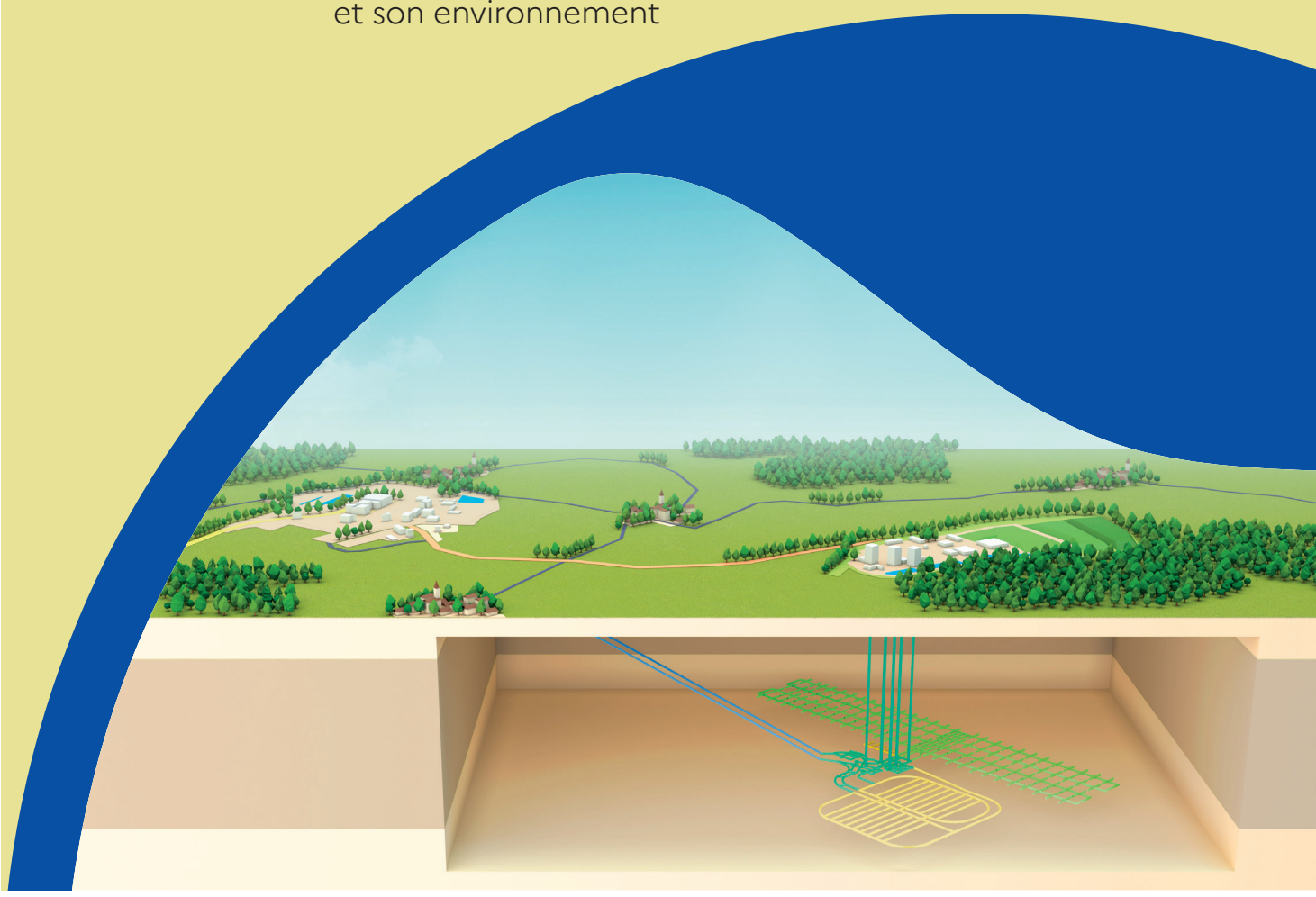
Version préliminaire du rapport de sûreté

PARTIE II

Description de l'INB,
de son environnement et de son fonctionnement
et évolution du système de stockage après fermeture

Volume 4

Le site d'implantation de l'INB
et son environnement



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

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

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

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

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

Sommaire

1. Le contexte géologique 9

1.1 Les échelles spatiales à considérer 10

1.2 Le contexte géographique et topographique du site d'implantation de l'INB Cigéo 10

1.3 Le contexte géologique du site d'implantation de l'INB Cigéo 13

1.3.1 Le cadre géologique général : le Bassin parisien 13
1.3.2 Le contexte géologique de la région de Meuse/Haute-Marne 17
1.3.3 Le contexte sismotectonique de la région de Meuse/Haute-Marne 22

1.4 Les formations géologiques à l'affleurement 30

1.4.1 Les Calcaires du Barrois 30
1.4.2 Les Marnes du Kimméridgien 32

1.5 L'Oxfordien carbonaté : formation encaissante sus-jacente au Callovo-Oxfordien 34

1.6 La formation hôte des ouvrages souterrains : la couche du Callovo-Oxfordien 36

1.6.1 Une formation de grande épaisseur et localisée à une profondeur importante 36
1.6.2 Une formation de grande continuité lithologique latérale 42
1.6.3 Une formation exempte d'hétérogénéités sédimentaires et structurales 47
1.6.4 Des caractéristiques porales et minéralogiques favorables 48
1.6.5 Des propriétés mécaniques dépendantes des unités géologiques 51

1.7 Les formations sous-jacentes au Callovo-Oxfordien 55

1.7.1 Le Dogger 55
1.7.2 Les formations profondes 56

2. Le cadre hydrogéologique et hydrologique 59

2.1 Le cadre hydrogéologique 60

2.1.1 Le système aquifère superficiel des Calcaires du Barrois 60
2.1.2 L'Oxfordien calcaire 64
2.1.3 Le Dogger 68

2.2 Les interfaces entre les eaux souterraines et les eaux superficielles 70

2.3 Le cadre hydrologique 73

2.3.1 La Saulx 75
2.3.2 L'Orge 75
2.3.3 L'Ormançon 75
2.3.4 L'historique en termes d'inondation 76
2.3.5 Le risque d'inondation 76

3. Le climat et la météorologie 79

3.1 Le climat actuel 80

3.2 La météorologie 83

3.2.1 Les températures 83
3.2.2 Les précipitations 88
3.2.3 Les régimes de vent 92
3.2.4 Les tornades 94
3.2.5 L'hygrométrie 96
3.2.6 La durée d'ensoleillement 96

3.2.7 L'évapotranspiration 97
3.3 L'évolution prévisible du climat sur la phase de fonctionnement 99
3.3.1 Le contexte 99
3.3.2 Le scénario d'évolution naturelle du climat 100
3.3.3 Le scénario d'évolution perturbée du climat par les activités anthropiques 100

4. La faune et la flore 105
4.1 Les aires considérées 106
4.2 La biodiversité 109
4.2.1 Les éléments généraux 109
4.2.2 Les zonages environnementaux : espaces naturels protégés ou remarquables 109
4.2.3 La distribution des zones environnementales 110
4.2.4 Les principaux enjeux de biodiversité 113
4.3 L'état radiologique du milieu naturel 116

5. La description paysagère et les activités humaines 119
5.1 Le paysage 120
5.2 La population 121
5.2.1 À proximité immédiate de l'INB 121
5.2.2 Dans les 20 km et 50 km autour de l'INB 122
5.3 Les habitats 124
5.4 Les activités humaines historiques 125
5.5 Les activités agricoles et sylvicoles 126
5.6 Les activités de loisirs, de plein air et de tourisme 127

6. L'environnement industriel et les voies de communication 129
6.1 Les activités, installations, ouvrages, travaux 130
6.1.1 Les activités industrielles en dehors du centre de stockage Cigéo 130
6.1.2 Les activités, installations, ouvrages, travaux sur le centre de stockage Cigéo 132
6.2 Les canalisations de transport et les lignes électriques 155
6.3 Les voies de communication 156
6.3.1 Les voies de communication terrestres 156
6.3.2 Les voies de communication aériennes 159
6.4 Les activités projetées au voisinage de l'INB 164
6.4.1 Les activités ultérieures propres au projet global Cigéo 164
6.4.2 Les autres projets 164

Tableau de traçabilité des principales évolutions 167

Tables des illustrations 171

Références bibliographiques 177

Préambule

Ce volume est le deuxième de la partie II (description et fonctionnement du stockage) de la version préliminaire du rapport de sûreté présentant les données d'entrée relatives au site d'implantation de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo et à son environnement dues pour la démonstration de sûreté.

Les descriptions du site et de l'environnement de l'INB Cigéo dans le présent volume sont présentées à des échelles variables définies en fonction des thèmes abordés dans les chapitres suivants :

- le contexte géologique (chapitre 1) ;
- le cadre hydrogéologique et hydrologique (chapitre 2) ;
- le climat et la météorologie (chapitre 3) ;
- la faune et la flore (chapitre 4) ;
- la description paysagère et les activités humaines (chapitre 5) ;
- l'environnement industriel et les voies de communication (chapitre 6).

En effet, pour une meilleure compréhension du milieu géologique (depuis sa mise en place jusqu'à son état actuel), du fonctionnement hydrogéologique et hydrologique, de la présentation de l'environnement (météorologie, faune, flore, habitats, démographie, environnement industriel…), les descriptions sont nécessairement aussi menées à des échelles spatiales (extensions géographiques) plus grandes que celle du centre de stockage Cigéo en cohérence avec les besoins en termes de description des données d'entrée pour la démonstration de sûreté (cf. Partie III de la présente version préliminaire du rapport de sûreté).

Ces échelles vont ainsi de la zone d'implantation de l'INB Cigéo à des zones plus larges restant néanmoins proches (*e.g.* 20 km, 40 km, 50 km de rayons pour certaines descriptions environnementales) ou plus éloignées (*e.g.* La zone de transposition correspondant à une superficie de 250 km² pour la géologie ou bien encore à l'échelle de l'interfluve de la Marne et l'Ornain pour l'hydrologie/hydrogéologie) voire nettement plus éloignées (*e.g.* À l'échelle du Bassin parisien pour la géologie).

Les chapitres du présent volume, en particulier les chapitres 3 à 6, renvoient au besoin à la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (1) du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) pour disposer d'informations et données plus détaillées. Toutefois les aires d'études retenues pour définir les contenus du présent volume, également variables selon les sujets, sont définies au regard de leurs cohérences avec les objectifs recherchés pour la démonstration de sûreté. Les aires d'étude ainsi retenues pour ce volume se concentrent sur le périmètre INB. Ces aires d'étude peuvent différer de celles de l'étude d'impact qui tiennent compte du projet global Cigéo

Le contenu de ce volume s'appuie sur l'ensemble des travaux scientifiques menés par l'Andra depuis plus de 25 ans sur le secteur de Meuse/Haute-Marne qui ont ainsi permis d'acquérir et d'accroitre les connaissances du site et de son environnement. Ces connaissances présentées dans ce volume renvoient à des documents dédiés présentant un niveau de description plus détaillé et faisant principalement partie du socle de connaissances scientifiques et techniques.

Cet ensemble de connaissances très important correspond à plusieurs flux de travaux (investigations et expérimentations scientifiques réalisées au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne, forages, campagnes sismiques, relevés des formations géologiques, mesures piézométriques…) complémentaires et organisés entre eux :

- 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 formation hôte du Callovo-Oxfordien ainsi que l'absence de faille. En 2007, un forage a été réalisé jusqu'à la profondeur de la formation du Trias (2 000 mètres), ce qui a permis de caractériser l'ensemble des formations géologiques à l'aplomb du secteur d'étude. Un ensemble de mesures en forages (diagraphies) a permis d'acquérir en continu et au pas d'analyse de l'ordre du décimètre, différentes caractéristiques des formations traversées (radioactivité naturelle, densité, porosité, vitesses des ondes, résistivité électrique…). Ces méthodes sont communes au milieu pétrolier et ont été mises en œuvre sur site par des grands opérateurs de ces domaines.

  Les carottes extraites des forages ont fait l'objet de nombreuses analyses : sédimentologie, composition chimique, quantification minéralogique, observations aux microscopes, mesures de porosité, mesures de perméabilité et de diffusion de traceurs, essais géomécaniques… Ces essais ont été conduits par des prestataires d'études et des laboratoires de recherche selon des méthodes normées (*e.g.* Essais de lixiviation, mesure par porosimétrie mercure…) ou bien établies scientifiquement (*e.g.* Essais de diffusion, quantification minéralogique…). Des prélèvements d'eau ont également été réalisés pour caractériser la chimie des eaux interstitielles (pH, ions majeurs, alcalinité…) et la dynamique grande échelle des traceurs naturels (incluant des isotopes) ;
- différentes campagnes sismiques ont été menées : 2D en 1994-1996) et 3D en 2 000 (4 km^2 autour du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne) et en 2008-2010 (37 km^2 sur la ZIRA) sur le site. Elles ont permis de préciser l'organisation des couches géologiques et caractériser leur géométrie (épaisseur, profondeur, extension, pendage…). Elles ont successivement permis d'obtenir une représentation volumique haute-résolution du sous-sol et confirmer que la couche argileuse du Callovo-Oxfordien est régulière avec une épaisseur supérieure à 130 mètres et une géométrie conforme à l'histoire et aux environnements géologiques de l'époque. La présence d'hétérogénéités structurales (failles) a notamment été recherchée à partir de ces méthodes qui ont confirmé qu'aucune hétérogénéité structurale n'est présente ni dans la couche géologique du Callovo-Oxfordien, ni dans les formations sous-jacentes et sus-jacentes à l'aplomb de la ZIRA ;
- de nombreuses investigations et expérimentations scientifiques ont été réalisées au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne afin de déterminer en conditions *in situ* les caractéristiques 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. Dans ce cadre, de nombreuses méthodes et outils de mesures ont été développés spécifiquement pour répondre aux contraintes d'un environnement souterrain. Des échantillons sont également prélevés depuis le front de taille des galeries en cours de creusement ou dans des forages réalisés dans différentes directions depuis les galeries (à fin 2019, 1 112 forages ont été réalisés dans le Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne). Ceux-ci, comme pour les forages depuis la surface, font l'objet d'analyse et de caractérisation... Durant tout le creusement des puits du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne à partir d'août 2000, les relevés continus de toutes les formations géologiques traversées ont permis d'établir une carte géologique détaillée de la paroi sur toute la hauteur des deux puits, d'évaluer la variabilité lithologique de ces formations, d'observer leur nature selon les directions de l'espace, de caractériser leur fracturation et micro-fracturation naturelle et d'en évaluer l'incidence sur les circulations de fluides. Les données obtenues au Laboratoire souterrain depuis sa création sont confrontées à celle issues des autres campagnes de caractérisation venant conforter et consolider, à différentes échelles d'observations, le modèle géologique ;

- des relevés continus de toutes les formations traversées ont été réalisés durant tout le creusement des puits du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne à partir d'août 2000. Ils ont permis d'établir une carte géologique détaillée de la paroi sur toute la hauteur des deux puits, d'évaluer la variabilité lithologique des couches à l'échelle décamétrique, d'observer leur nature selon les directions, de caractériser leur fracturation et micro-fracturation naturelles et d'en évaluer l'incidence sur les circulations de fluides. Les observations réalisées depuis le début du creusement des puits ont confirmé les données sédimentaires et tectoniques déjà acquises par les forages et ont fourni des données structurales quantifiées précises qui ont conforté le modèle géologique ;
- des connaissances du fonctionnement hydrogéologique sont issues du réseau de piézomètres utilisé pour établir les niveaux d'eau (piézométrie) des différentes aquifères et des nombreux tests hydrogéologiques ont été réalisés lors des différentes campagnes de caractérisation. Le réseau de piézomètres comporte des ouvrages créés pour les différentes campagnes de caractérisation pour et depuis la création du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ainsi que des ouvrages existants sur le territoire (inclut dans la banque du sous-sol du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)) ;
- les connaissances du réseau hydrographique proviennent des observations de terrain ainsi que des données issues du réseau de stations de suivis des cours de cours d'eau, celles-ci étant complétées par des campagnes régulières de relevés manuels ;
- des données sur l'environnement sont issues de l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE) qui a été mis en place depuis 2007 et dont l'objectif est de décrire précisément l'environnement du territoire d'implantation de l'INB Cigéo et de suivre son évolution sur le long terme. L'OPE a mis en œuvre un programme d'observation pluridisciplinaire (eau, air, flore, faune et homme) sur une période d'au moins 100 ans. Il a pour objectif :
  - ✓ d'établir un état des lieux de l'environnement du stockage, aussi bien physique et chimique, que biologique et radiologique ;
  - ✓ de conserver la mémoire de cet environnement ;
  - ✓ de préparer un plan de surveillance environnementale du futur centre de stockage ;
  - ✓ de comprendre les interactions entre les différents milieux environnementaux et suivre leur évolution afin d'évaluer précisément l'impact du stockage ;
  - ✓ de définir l'origine de toute perturbation observée.
- à cela s'ajoute les autres données acquises par des organismes/entreprises tiers sur certains compartiments techniques spécifiques, par exemple Météo-France pour les données météorologiques.

Tous ces travaux ont permis d'acquérir une connaissance robuste support à la démonstration de sûreté présentée en partie III de la présente version préliminaire du rapport de sûreté. Cette connaissance permet notamment :

- de s'assurer que cet ensemble et plus particulièrement la couche argileuse du Callovo-Oxfordien, présente les propriétés favorables attendues ;
- et d'évaluer son comportement à long terme (cf. Volume 7 du présent rapport traitant de l'évolution phénoménologique du système de stockage après sa fermeture) qui est aussi une donnée d'entrée essentielle à la démonstration de sûreté en particulier pour évaluer la sûreté durant la période après-fermeture long terme.

1

Le contexte géologique

1.1	Les échelles spatiales à considérer	10
1.2	Le contexte géographique et topographique du site d'implantation de l'INB Cigéo	10
1.3	Le contexte géologique du site d'implantation de l'INB Cigéo	13
1.4	Les formations géologiques à l'affleurement	30
1.5	L'Oxfordien carbonaté : formation encaissante sus-jacente au Callovo-Oxfordien	34
1.6	La formation hôte des ouvrages souterrains : la couche du Callovo-Oxfordien	36
1.7	Les formations sous-jacentes au Callovo-Oxfordien	55

1.1 Les échelles spatiales à considérer

Pour la compréhension de la représentation de la géométrie et de l'organisation des propriétés intrinsèques de la formation du Callovo-Oxfordien et de ses encaissants, objet du présent chapitre, les éléments descriptifs sont présentés à l'échelle (cf. Figure 1-9) :

- du **Bassin parisien** qui est l'ensemble sédimentaire s'étendant d'est en ouest de la Lorraine à la Normandie et, du sud au nord, du Poitou au nord de la France ;
- du **secteur de Meuse/Haute-Marne (ou région de Meuse/Haute-Marne)** correspondant à une zone de 40 km d'est en ouest et de 60 km du nord au sud approximativement centrée sur le Laboratoire souterrain. Le secteur est limité à l'est, au sud et à l'ouest par le fossé de Gondrecourt et les failles de la Marne ;
- de la **zone de transposition (ZT)** qui a été définie en 2005 comme une superficie de 250 km² sur laquelle les propriétés de la formation du Callovo-Oxfordien sont similaires à celles déterminées sur le site du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne et exempt de failles ;
- de la **zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA) de l'ordre de 30 km²** environ située au sein de la ZT, proposée en 2009 pour l'implantation souterraine des zones de stockage de l'INB. Les critères pris en compte pour sa définition sont liés à la sûreté et à la géologie (épaisseur de la couche, profondeur, orientations des contraintes du milieu…). Des critères liés à l'aménagement du territoire et à l'insertion locale ont également été pris en compte (compatibilité avec une implantation de la descenderie dans la zone limitrophe Meuse/Haute-Marne et avec une implantation des puits d'accès dans une zone boisée, éviter une implantation sous les zones urbanisées des villages...).

1.2 Le contexte géographique et topographique du site d'implantation de l'INB Cigéo

Le site d'implantation de l'INB est localisé au sud-est du Bassin parisien, dans la région Grand Est, dans les départements de la Meuse et de la Haute-Marne. Cette région représente une structure géologique tabulaire de faible pendage typique de la périphérie des bassins sédimentaires (cf. Chapitre 2.2 du référentiel de site, tome I (2)) Cette structure est composée d'une alternance de roches calcaires et de roches argileuses qui, combinée à l'action érosive exercée au cours des derniers millions d'années, a conduit à l'existence actuelle d'un paysage de cuestas où se succèdent des lignes de côtes, plus ou moins marquées culminant jusqu'à 400 mètres d'altitude, selon les formations géologiques affleurant et la topographie (cf. Figure 1-1).

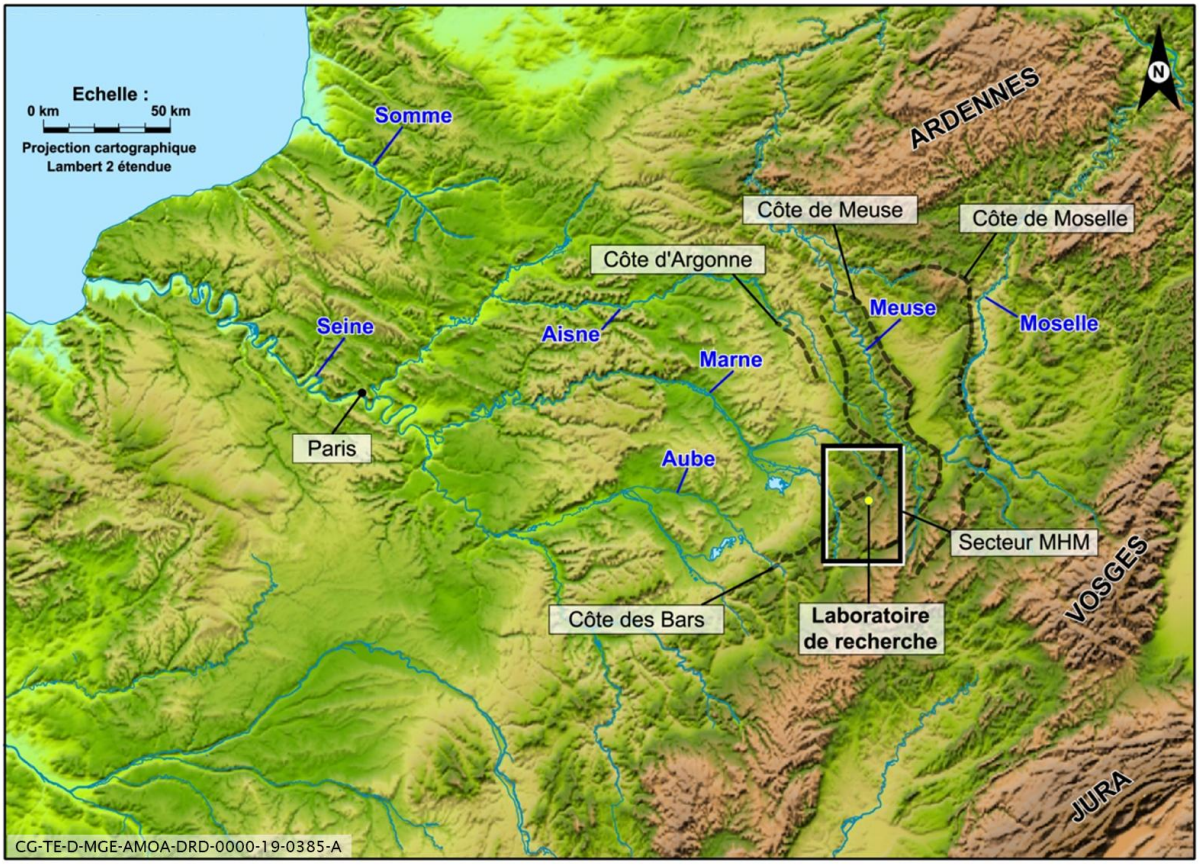


Figure 1-1 *Cadre géographique général du Bassin parisien et localisation du site d'implantation*

Dans ce cadre général, le site d'implantation de l'INB se situe sur un plateau vallonné, correspondant au revers de la côte des Calcaires du Barrois drainé par les vallées du bassin de la Seine et par les affluents de la Meuse. Les vallées de la Saulx, de l'Ormançon et de l'Ornain (cf. Figure 1-2), de direction sud-nord et sud-est/nord-ouest entaillent ce plateau et se distinguent par leurs caractéristiques topographiques en partie liées aux spécificités géologiques locales : dans la traversée des plateaux calcaires, les vallées sont encaissées. Dans les formations argileuses et sablo argileuses, les vallées ne sont que peu voire pas encaissées (cf. Chapitre 2 du référentiel, tome II « Bilan des observations de l'OPE sur l'état de l'environnement de surface » (3)) :

- l'Ornain présente un tracé rectiligne entre Gondrecourt-le-Château et Demange-aux-Eaux puis un tracé méandriforme jusqu'à Naix-aux-Forges. En amont de Demange-aux-Eaux, la vallée est peu encaissée (15 mètres - 20 mètres) et présente des versants peu inclinés (2 %), disposés en terrasses étagées (notamment en rive gauche, autour de Gondrecourt-le-Château). Ponctuellement, les versants sont plus marqués et peuvent présenter une importante dénivellation. À l'aval de Demange-aux-Eaux, la vallée est plus encaissée (50 mètres à 100 mètres de dénivellation voire 150 mètres à 200 mètres en contrebas des plateaux dont les points hauts atteignent ou dépassant 400 mètres d'altitude), et présente des versants rectilignes et pentus (20 % - 25 %) ;
- la Saulx présente un tracé rectiligne entre sa source et Stainville puis un tracé méandreux à l'aval de cette dernière. Dans sa partie amont (secteur marneux), la Saulx est peu encaissée (quelques mètres), et présente des versants peu pentus (1 % à 2 %) et peu marqués dans le paysage. Dès qu'elle entre au contact des Calcaires du Barrois (aval d'Échenay), la plaine alluviale se rétrécit (de 100 mètres à 250 mètres), le cours d'eau s'encaisse davantage et les versants deviennent plus marqués (pente de 20 % - 25 %) ;
- l'Orge présente un aspect général très similaire à celui de la Saulx. Ce dernier se caractérise ainsi par un tracé globalement rectiligne, une topographie caractérisée par un faible encaissement dans sa partie amont (secteur marneux) et un encaissement plus marqué dans sa partie médiane et aval (secteur calcaire).

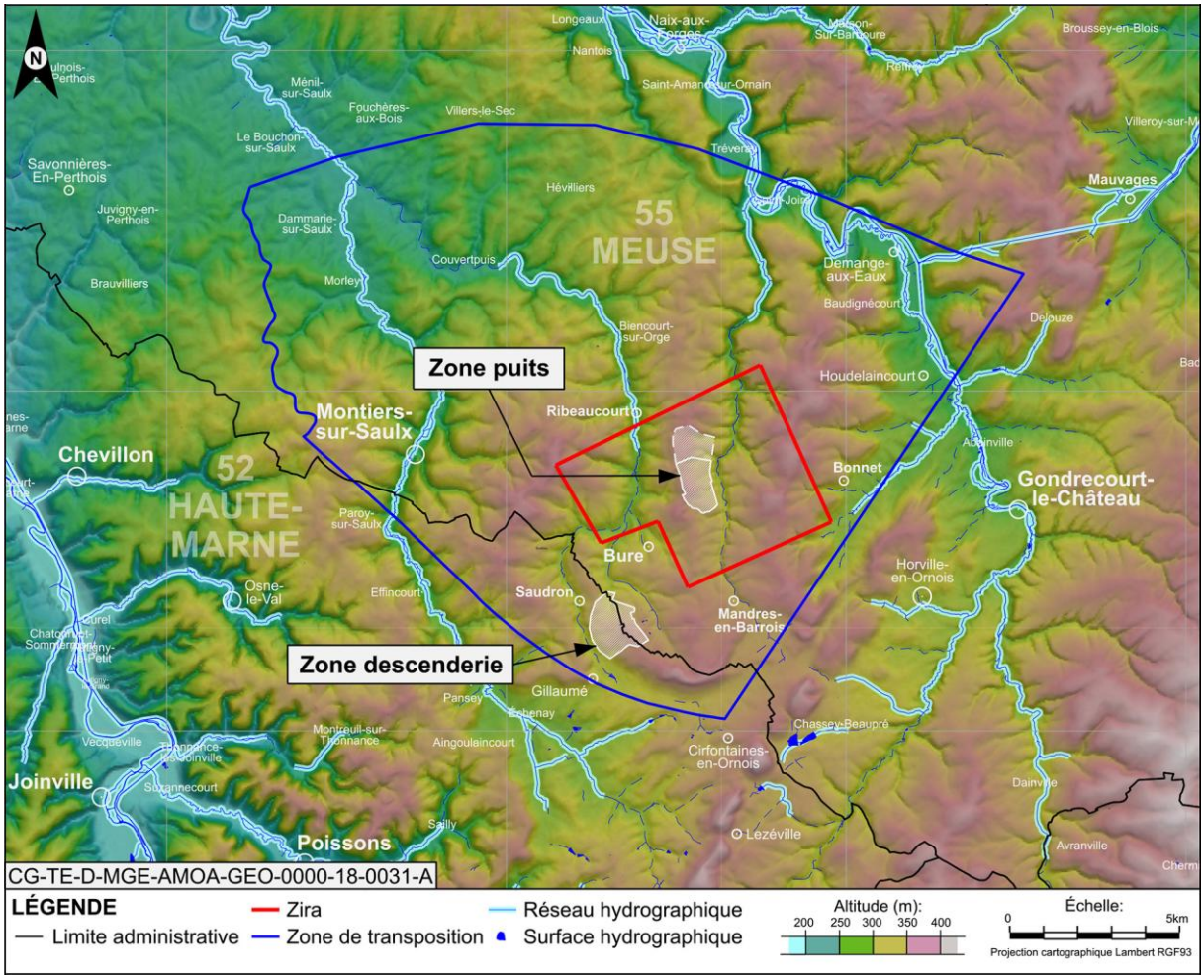


Figure 1-2 *Carte topographique régionale autour de l'INB et en particulier des zones puits et descenderie*

La zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) s'inscrit dans la portion du revers du plateau des Calcaires du Barrois dont l'altitude varie de 300 mètres à 400 mètres NGF et située entre la Saulx à l'ouest et l'Ornain à l'est. La surface du plateau est structurée par les vallées de la Saulx et de son affluent l'Orge, ainsi que par la vallée plus étroite de l'Ormançon, affluent de l'Ornain qui s'écoulent globalement vers le nord (cf. Figure 1-2).

Sur la zone puits, le relief est caractérisé par des dénivelés de 60 mètres à 80 mètres entre les points hauts du paysage et le fond de la vallée de l'Ormançon. Cette zone de versant est marquée par des buttes et des vallons qui collectent et conduisent les ruissellements jusqu'à l'Ormançon. Les altitudes y passent de 360 mètres à 340 mètres.

Sur la zone descenderie, localisée sur le front de côte des Calcaires du Barrois longé et recoupé par la vallée de l'Orge, le relief est marqué par le fond de vallée de l'Orge, situé à 320 mètres d'altitude et le front de côte, confondu avec le versant de la vallée de l'Orge, qui présente une pente assez régulière et des ravins peu marqués.

Entre la zone descenderie et Mandres-en-Barrois qui suit les routes départementales D60 et D960, un tronçon est-ouest marqué par des vallons secs.

Les dénivelés sont de l'ordre de 20 mètres, les altitudes variant de 365 mètres à 345 mètres. Entre la zone puits et Mandres-en-Barrois (chemin dit « ancienne voie romaine »), se distingue un tronçon nord-sud, marqué par une faible topographie et des dénivelés de faible amplitude.

1.3 Le contexte géologique du site d'implantation de l'INB Cigéo

1.3.1 Le cadre géologique général : le Bassin parisien

1.3.1.1 La présentation générale

Le site d'implantation de l'INB se situe sur la bordure orientale du Bassin parisien, qui est un bassin sédimentaire intracontinental, dont la structure se présente actuellement comme une cuvette, remplie d'une succession de formations sédimentaires dessinant en surface une auréole concentrique légèrement plus allongée selon la direction sud-ouest/nord-ouest. L'âge de ces formations s'étend du tertiaire au centre, jusqu'au Trias à la périphérie (cf. Figure 1-3). L'ensemble de la série sédimentaire repose sur le socle hercynien visible au nord-est du massif des Ardennes ; à l'est du massif du Morvan, au sud du Massif central ou encore à l'ouest du Massif armoricain (cf. Figure 1-3).

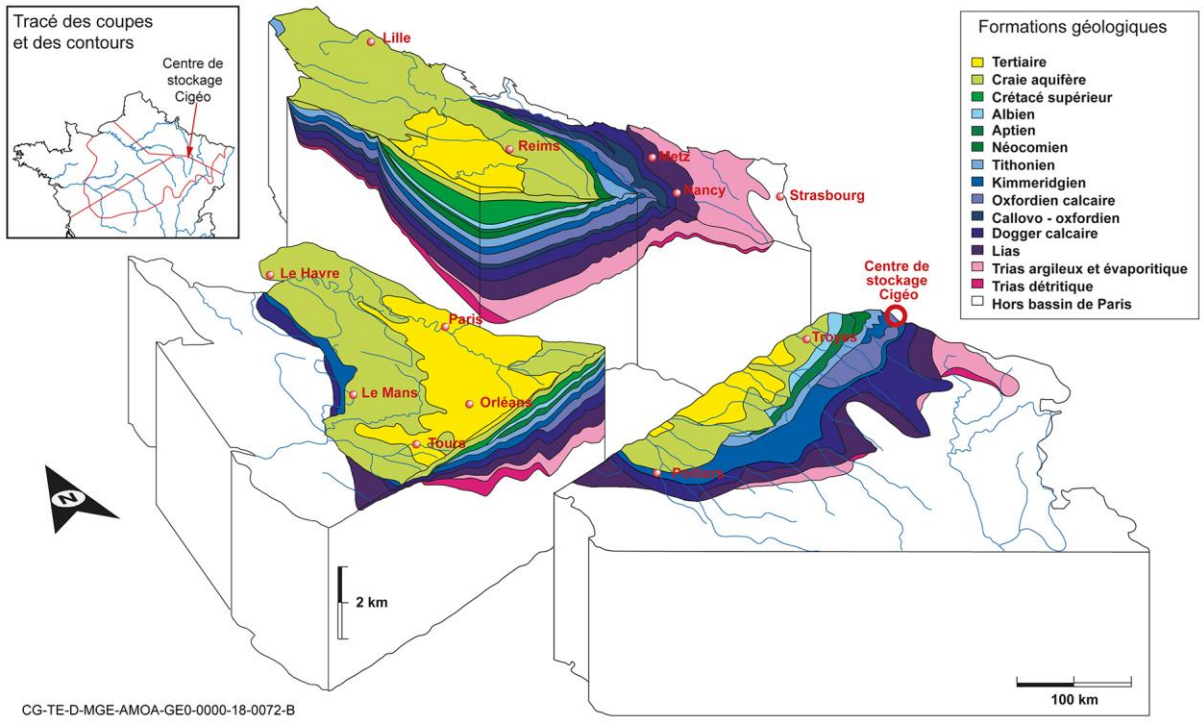


Figure 1-3 *Bloc diagramme 3D géologique des formations géologiques du Bassin parisien*

Sa physionomie actuelle de cuvette, centrée sur l'Ile-de-France a été acquise progressivement au cours d'une histoire géologique longue de plus de 250 Ma marquée par différentes phases tectoniques (phase compressive pyrénéenne, phase d'extension de l'Oligocène et phase compressive alpine). Sa structuration actuelle résulte de la combinaison de deux processus distincts mais superposés. Ce sont d'une part une subsidence thermique long-terme en réponse au rifting permo-triasique et d'autre part les conséquences de plusieurs épisodes tectoniques liés à des évènements géodynamiques lointains (*e.g. Riftings* et ouvertures téthysienne et atlantique, convergence Europe-Afrique…) à l'origine de la remobilisation des structures hercyniennes et tardi-hercyniennes (cf. Figure 1-4).

Les évènements mésozoïques et cénozoïques, essentiellement liés au contexte géodynamique, ont déterminé l'évolution générale des contraintes dans cette partie de la plaque ouest-européenne et ont modelé les conditions de dépôt et de structuration des formations sédimentaires ainsi que leurs propriétés et leur agencement. Depuis, le Bassin parisien est peu affecté par la tectonique, l'ensemble des structures étant inactif depuis *a minima* deux millions d'années (Baize *et al.*, 2013 (4)), c'est-à-dire depuis le quaternaire, et plus probablement depuis la dernière phase distensive oligocène, soit depuis les derniers 25 millions d'années (Pagel *et al.*, 2018 (5) ; Pisapia *et al.,* 2017 (6)).

L'épaisseur de la série sédimentaire croît progressivement depuis la périphérie jusqu'au centre du bassin qui est la zone la plus subsidente depuis sa création. Le maximum d'épaisseur se situe sous la région de la Brie, à l'aplomb de laquelle le socle antépermien, affleurant dans les massifs périphériques se retrouve à près de 3 200 mètres de profondeur.

1.3.1.2 Le contexte géodynamique du Bassin parisien

Le contexte géodynamique de la plateforme continentale ouest-européenne où se situe le Bassin parisien est gouverné par la convergence continue entre les plaques africaine et eurasienne. En partie occidentale, au droit du Bassin parisien, la convergence entre ces deux plaques est de l'ordre de 4 mm à 5 mm/an. Elle est majoritairement absorbée pour 95 % environ dans les chaînes du pourtour méditerranéen occidental que sont les maghrébines et la cordillère Bétique. Les résidus (≈ 0,25 mm/an) sont quant à eux distribués et absorbés préférentiellement dans les zones dites « actives » que sont l'Arc alpin, le graben du Rhin supérieur et son épaulement vosgien et les Pyrénées et de façon mineure dans les Ardennes et le massif armoricain (cf. Figure 1-4).

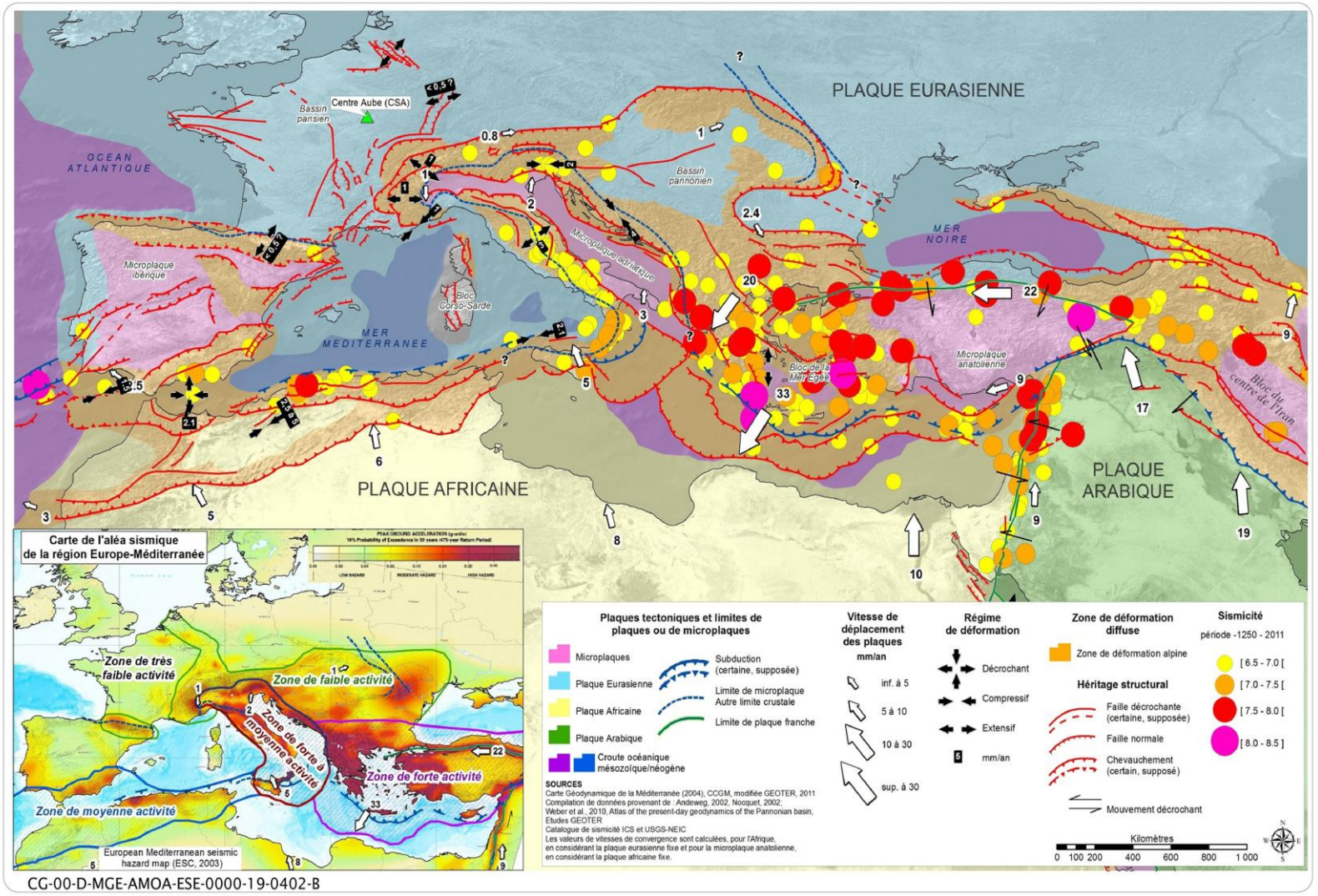


Figure 1-4 *Contexte géodynamique de la plateforme ouest-européenne*

1.3.1.3 Le contexte sismotectonique de la partie orientale du Bassin parisien

Le bâti tectonique de la partie orientale du Bassin parisien est conditionné et structuré par quatre grands systèmes de failles majeurs s'enracinant dans le socle et hérités des phases hercyniennes à tardi-hercynienne. Aujourd'hui inactives, elles sont (cf. Figure 1-5) :

- à l'ouest, le faisceau de failles subméridiennes de Saint Martin de Bossenay/Sézanne ;
- au centre, le système subméridien au nord nord-ouest/sud sud-est des failles du fossé de la Marne qui forme la terminaison occidentale du bassin houiller sarro-lorrain ;
- au nord et nord-est, le système de failles N 60°E d'Omey-Metz-Luxembourg qui borde et encadre de grandes ondulations nord-est/sud-ouest que sont du nord au sud le synclinal du Luxembourg, l'anticlinal de Lorraine-Sarrebruck et le synclinal de Savonnières-Sarreguemines. Ce système de failles est relayé plus au sud-est par la faille de Vermenton ;
- au sud et vers l'est, le système de failles de Vittel de direction est-ouest qui recoupe et sépare vers l'ouest les failles subméridiennes de Saint-Martin de Bossenay et de Sézanne.

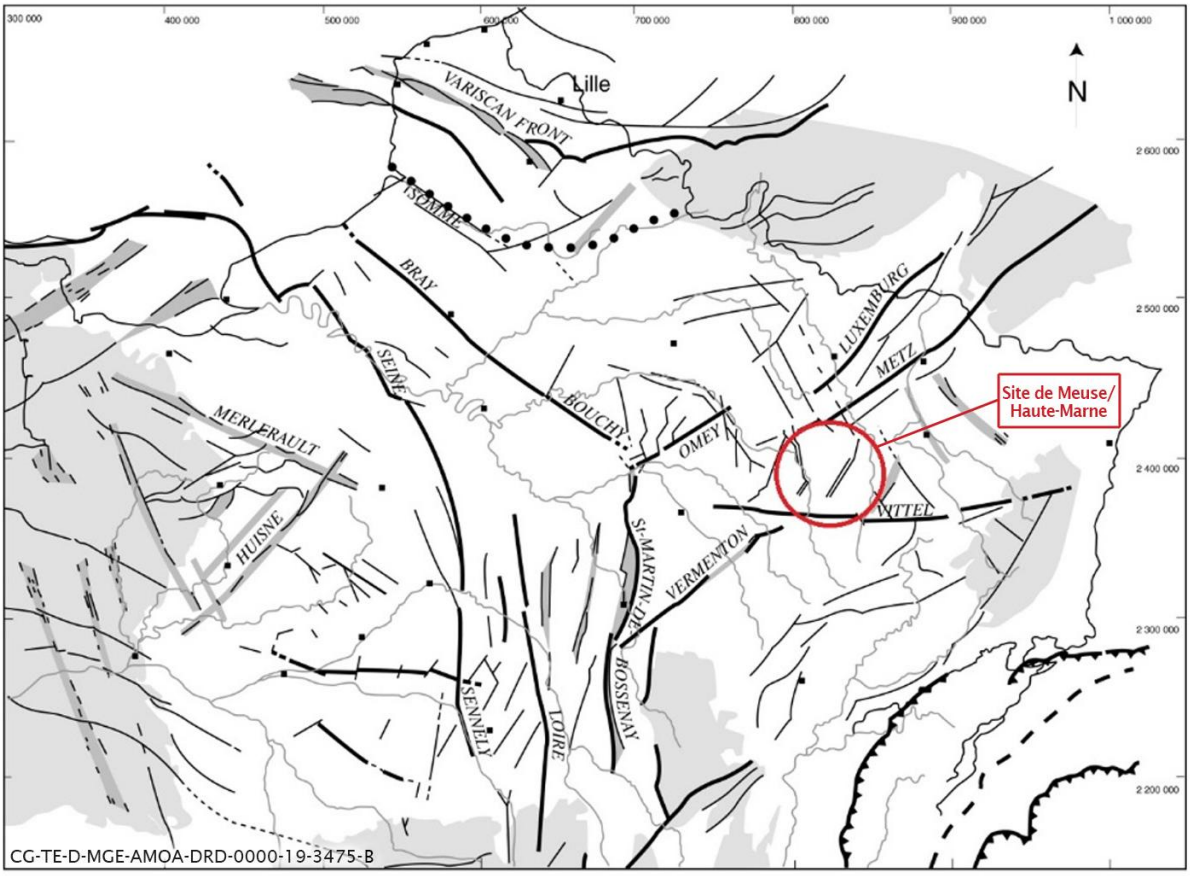


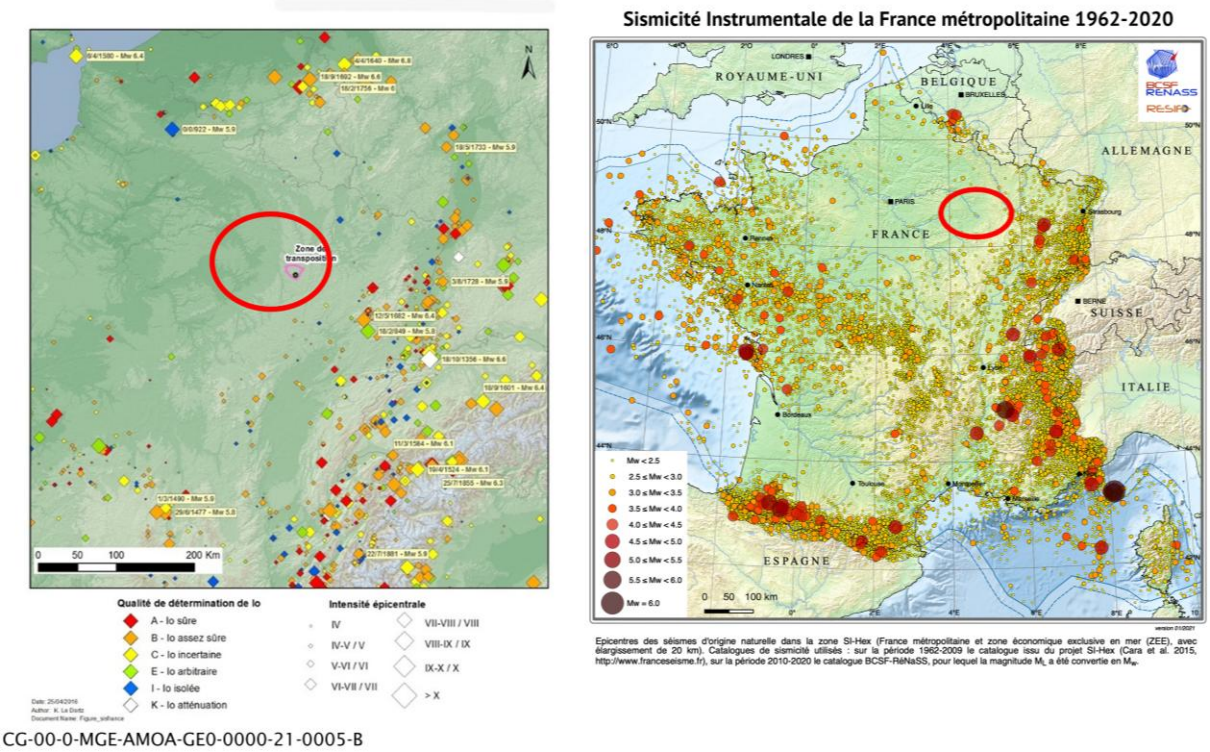
Figure 1-5 *Cadre structural du nord-est du Bassin parisien avec le secteur de Meuse/Haute-Marne identifié par le cercle rouge*

Au sein de ce bâti structural, nombre de structures tectoniques se sont formées et ont évolué au cours de ces derniers 250 millions d'années en réponse aux différentes phases tectoniques qui se sont succédées sur la région. L'ensemble de ces structures a été caractérisé par des études approfondies et des travaux de reconnaissance sur le terrain depuis les années 1990 jusqu'à 2020.

Actuellement, le Bassin parisien est l'une des zones tectoniquement les plus stables de la plateforme ouest-européenne, à l'écart de toutes influences directes de la compression alpine.

En effet, il repose sur une croûte hercynienne épaisse d'environ 35 km qui se comporte comme un bloc rigide en équilibre isostatique. Il est donc intrinsèquement peu propice aux déformations, ces dernières étant majoritairement absorbées et distribuées comme vu précédemment au pourtour, dans des grands systèmes de failles formant des zones de plus faible résistance mécanique. Ceci est corroboré par un taux de déformation nul à quasi nul (0-10^{-2} nanostrain/an) en accord avec une activité sismique instrumentale et historique très faible, voire inexistante, conférant à la partie orientale du Bassin parisien son caractère asismique (cf. Figure 1-6), et l'absence de tout indice néotectonique et de déformation récente sur et au voisinage des failles en partie orientale du Bassin parisien sur lequel se situe les futures installations de l'INB.

Une activité sismique de très faible niveau, non ressentie mais enregistrée par les sismomètres, se développe à plus de 40 km du site, en direction de l'est et du sud-est (cf. Figure 1-6). La région la plus proche qui présente une activité sismique ressentie à l'échelle des temps historiques se situe à plus de 75 km du site, sur la bordure ouest du massif des Vosges, et plus loin encore dans le graben du Rhin.



CG-00-0-MGE-AMOA-GE0-0000-21-0005-B

Figure 1-6 *Carte de sismicité instrumentale (1962-2020) et localisation du secteur d'étude en rouge*

1.3.2 Le contexte géologique de la région de Meuse/Haute-Marne

À l'aplomb du site d'implantation de l'INB, la série sédimentaire est épaisse de plus de 1 800 mètres et constituée d'une alternance de formations sédimentaires à dominante argileuse ou calcaire, présentant un pendage régulier de l'ordre du degré vers le nord-ouest (cf. Chapitre 1.6.1 du présent volume), en direction du centre du Bassin parisien, complétée par une ondulation de faible amplitude orientée est-nord-est/ouest-sud-ouest (cf. Figure 1-7).

La série sédimentaire qui recouvre le socle antépermien se limite aux formations datant du Jurassique et du Trias, les formations crétacées ayant disparu par érosion et n'étant identifiés que par des placages d'altérites du crétacé inférieur sur le plateau de Bure.

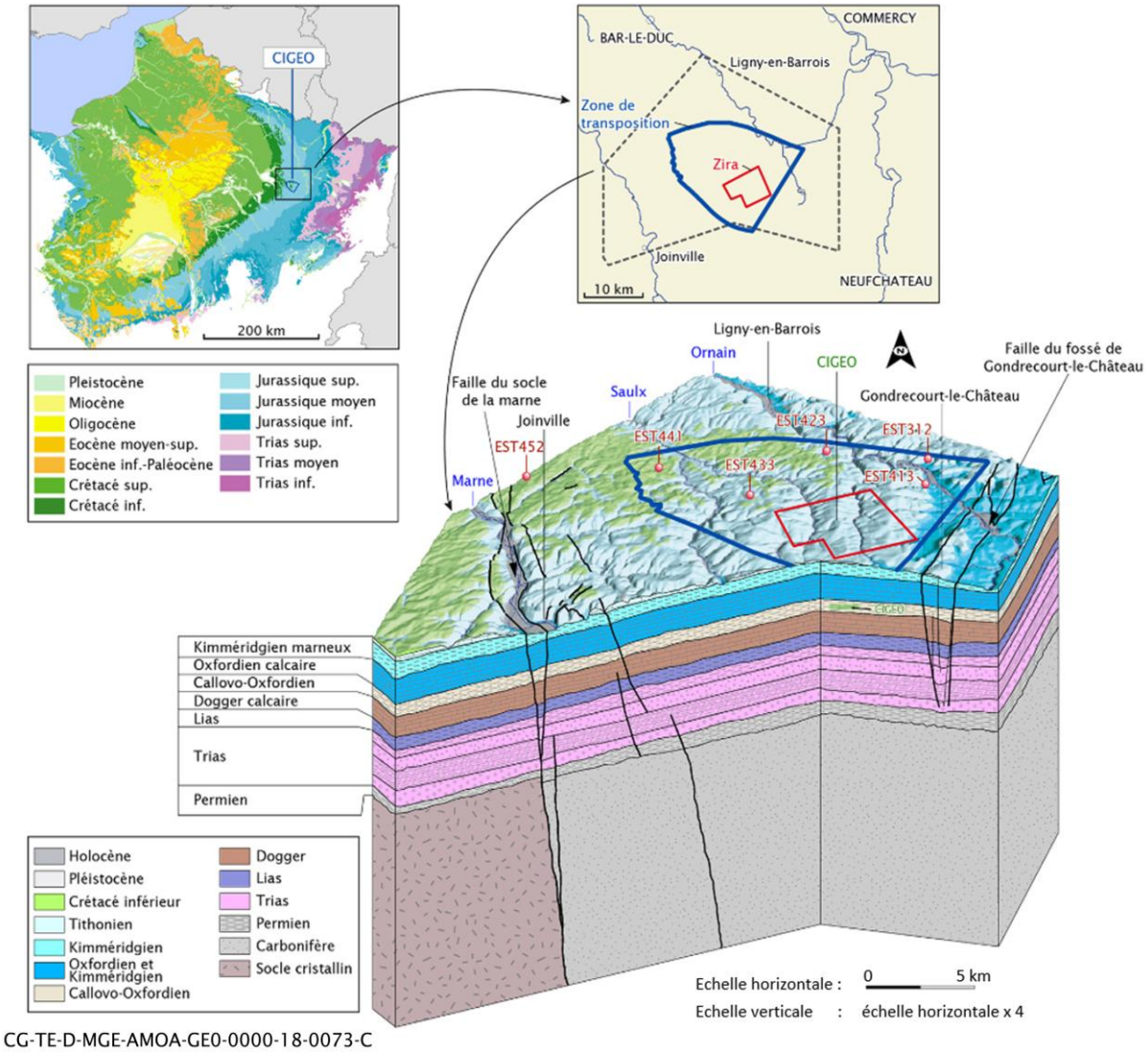


Figure 1-7 *Contexte géographique et géologique général du secteur de Meuse/Haute-Marne en pointillé (en bleu : la zone de transposition ; en rouge : la zone d'intérêt pour une recherche approfondie)*

Les formations plus particulièrement concernées, à différentes échelles, pour l'installation des différents composants de l'INB (installation souterraine, installations de surface, puits, descenderies…) se situent dans la moitié supérieure de cet empilement.

Elle est constituée, de bas en haut (et d'est en ouest aux affleurements) par (cf. Figure 1-9) :

- la formation calcaire et aquifère du Dogger, formation encaissante inférieure de la formation hôte ;
- la formation argileuse du Callovo-Oxfordien ou formation hôte à dominante argileuse où sont implantées les ouvrages souterrains de l'INB ;
- la formation calcaire et aquifère de l'Oxfordien moyen à supérieur, formation encaissante supérieure de la formation hôte ;
- la formation du Kimméridgien essentiellement marneuse ;
- à l'affleurement au niveau du site d'implantation de l'INB, les Calcaires aquifères du Tithonien (dits Calcaires du Barrois) ;
- quelques placages de Crétacé argilo-sableux, de faible épaisseur, couronnant les points les plus élevés de la topographie.

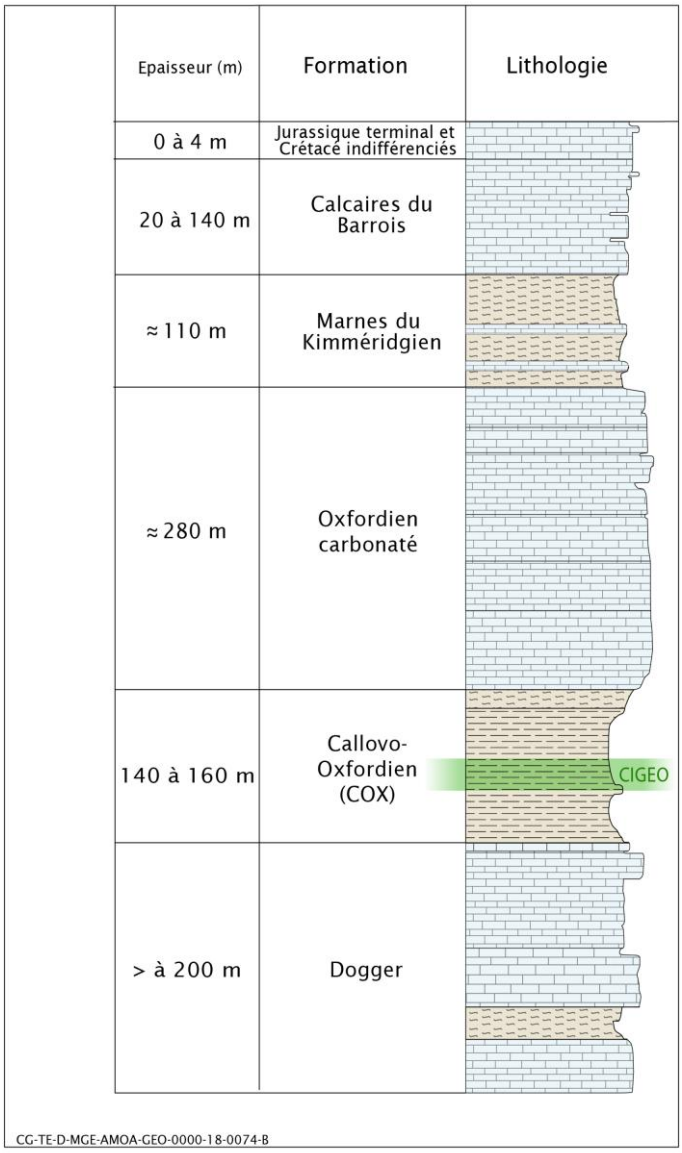


Figure 1-8 *Log stratigraphique des formations sédimentaires rencontrées à l'aplomb du site d'implantation de l'INB (profondeur des formations données au niveau du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne)*

L'ensemble de ces formations sédimentaires s'est déposé progressivement au Jurassique au cours d'une phase transgressive majeure qui a débuté au Bathonien moyen et s'est terminée à l'Oxfordien.

À cette époque, régionalement, une mer épicontinentale assurait la liaison entre l'océan téthysien au sud-est et l'Atlantique central qui commençait à s'ouvrir. Cette mer était parsemée de grandes terres émergées dont l'origine est hercynienne (massif du Brabant, Massif armoricain, massif de Cornouailles…).

La paléogéographie de l'époque (latitude basse, faible volume de terres émergées…) a favorisé le développement de plates-formes soit carbonatées, comme celles du Dogger et de l'Oxfordien moyen à supérieur, soit mixtes carbonatées/détritiques, comme celle de l'épisode argileux du Callovo-Oxfordien, dans une mer dont la profondeur est restée peu importante, au maximum de l'ordre de la centaine de mètres. La formation des argilites du Callovo-Oxfordien correspond à un épisode détritique de la fin de cette phase transgressive. Ce contexte a été favorable à des dépôts détritiques issus de l'érosion des terres émergées éloignées sur de grandes extensions, sans brusques variations des conditions paléogéographiques.

Dès leur dépôt, les formations du Jurassique et plus particulièrement la formation du Callovo-Oxfordien ont été enfouies progressivement sous l'effet de la subsidence thermique du bassin pendant plus de 80 Ma (-145 Ma à -65 Ma). Hormis la période de soulèvement des Vosges à la limite Jurassique-crétacé (-135 Ma à –120 Ma), la subsidence du Bassin parisien s'est poursuivie jusqu'à la fin du crétacé supérieur avec le dépôt de deux à trois cents mètres de formation crayeuse. En réponse aux prémices de la collision alpine au sens large et du bombement associé, l'émersion de la bordure orientale du bassin s'amorce dès le début du tertiaire (~ -65 Ma) pour se poursuivre et se généraliser à l'ensemble du bassin pendant tout le cénozoïque, à l'origine du décapage des formations du crétacé au pourtour du bassin et de la mise à l'affleurement des formations du Jurassique sur le secteur de Meuse/Haute-Marne.

Sur le secteur de Meuse/Haute-Marne, l'alternance de ces formations ainsi que le pendage général des couches vers le nord-ouest créent aux affleurements un relief typique de côtes (cf. Figure 1-2). Le moteur principal de la création du relief est la chute du niveau eustatique et l'enfoncement du réseau hydrologique en réponse pour équilibrer le profil avec, de manière connexe, depuis 3 Ma, le fait que les formations sont affectées par la mise en place et le retrait d'un pergélisol lié à l'alternance des cycles glaciaires-interglaciaires. Aujourd'hui, le relief actuel du secteur de Meuse/Haute-Marne est caractérisé :

- au sud et à l'est du secteur, par le plateau de l'Oxfordien carbonaté, formant les côtes de Meuse ;
- vers l'ouest, par la dépression marneuse correspondant à la formation du Kimméridgien, au sein de laquelle l'affleurement des Calcaires du Barrois forme de petites buttes très visibles dans le paysage ;
- par les Calcaires du Barrois, sous la forme d'un vaste plateau lieu d'implantation de l'INB, couronné par les placages de crétacé inférieur et entaillé par des rivières (cf. Tableau 1-1 et la figure 1-9).

Tableau 1-1 *Correspondance des formations géologiques aux dénominations locales et les formations géologiques à l'affleurement présentés 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
Kimm. < et Oxfordien calcaire	Partie supérieure de l'Oxfordien calcaire

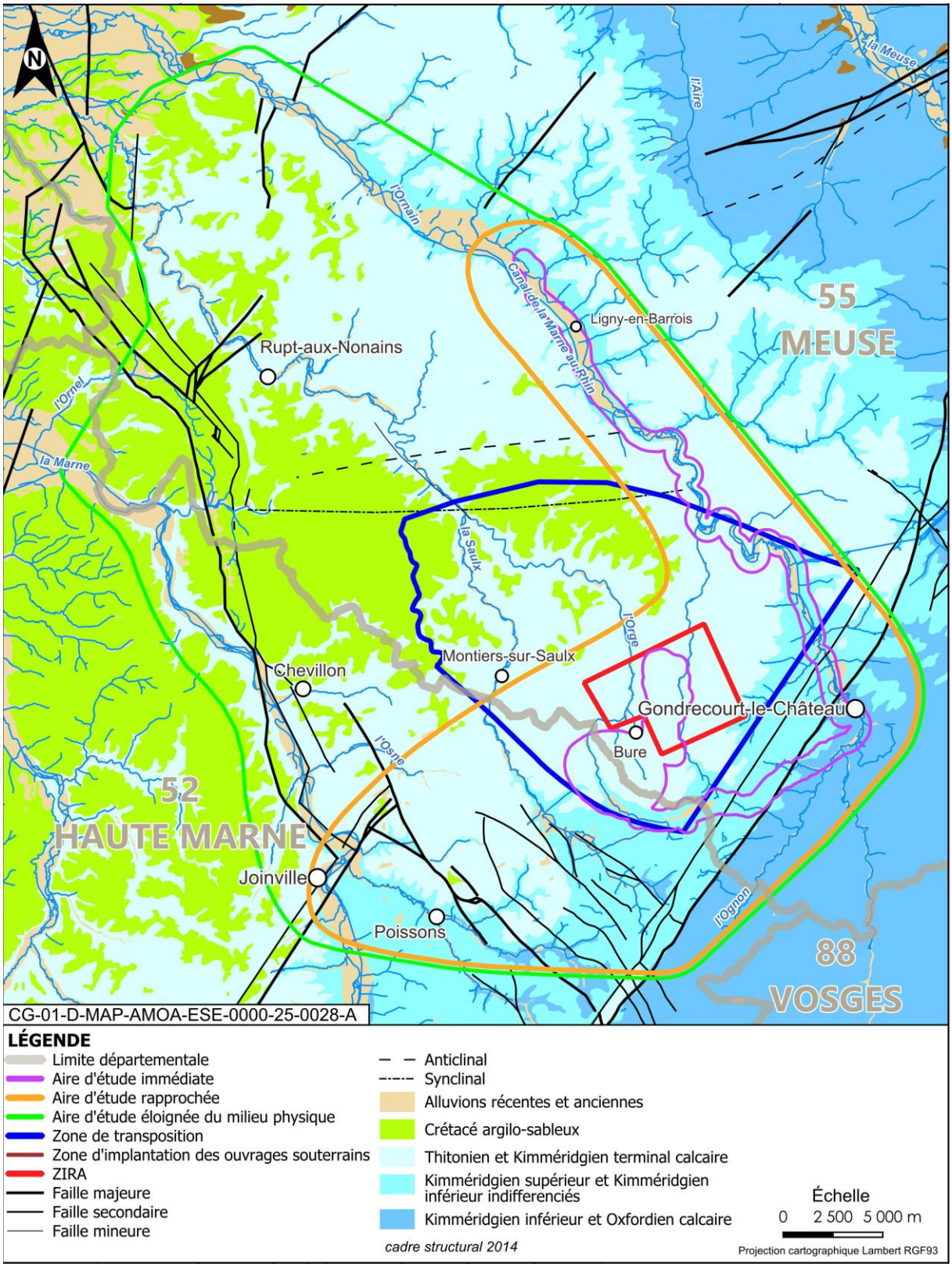


Figure 1-9 *Carte géologique du secteur de Meuse/Haute-Marne présentant l'aire d'étude immédiate correspondant au site d'implantation de l'INB et, pour mémoire, les installations relevant du projet global Cigéo (ligne 027000 en particulier)*

1.3.3 Le contexte sismotectonique de la région de Meuse/Haute-Marne

1.3.3.1 Les structures tectoniques régionales

Régionalement, des structures tectoniques (failles, fractures…), qu'elles soient de socle ou de couverture, ont été reconnues à partir de l'analyse de données de la littérature ouverte, de travaux de reconnaissance sur le terrain (observation en forages, acquisitions géophysiques), de l'interprétation de profils sismiques pétroliers et acquis par l'Andra et celle du bloc de la sismique 3D haute résolution réalisée par l'Andra en 2009 sur la zone d'intérêt pour la reconnaissance approfondie (ZIRA).

Ce travail a permis de reconnaître et de caractériser géométriquement et dynamiquement l'ensemble des structures tectoniques dans un rayon de 30 km à 40 km autour de la zone d'implantation de l'INB et de fournir un schéma structural cohérent et homogène à l'échelle de la région Champagne-Lorraine, plus localement à l'échelle du secteur de Meuse/Haute-Marne (cf. Figure 1-10). De ce schéma structural se distingue alors nettement une large zone de 250 km^2 s'étendant du Laboratoire de recherche souterrain jusque plus au nord, dépourvue de toute structure tectonique et ayant des caractéristiques géologiques similaires à celle de l'environnement immédiat du Laboratoire de recherche souterrain. L'absence de toute structure tectonique identifiée a été l'un des critères permettant de délimiter la zone de transposition (ZT), retenue lors du dossier 2005 (cf. Volume 1 du présent rapport).

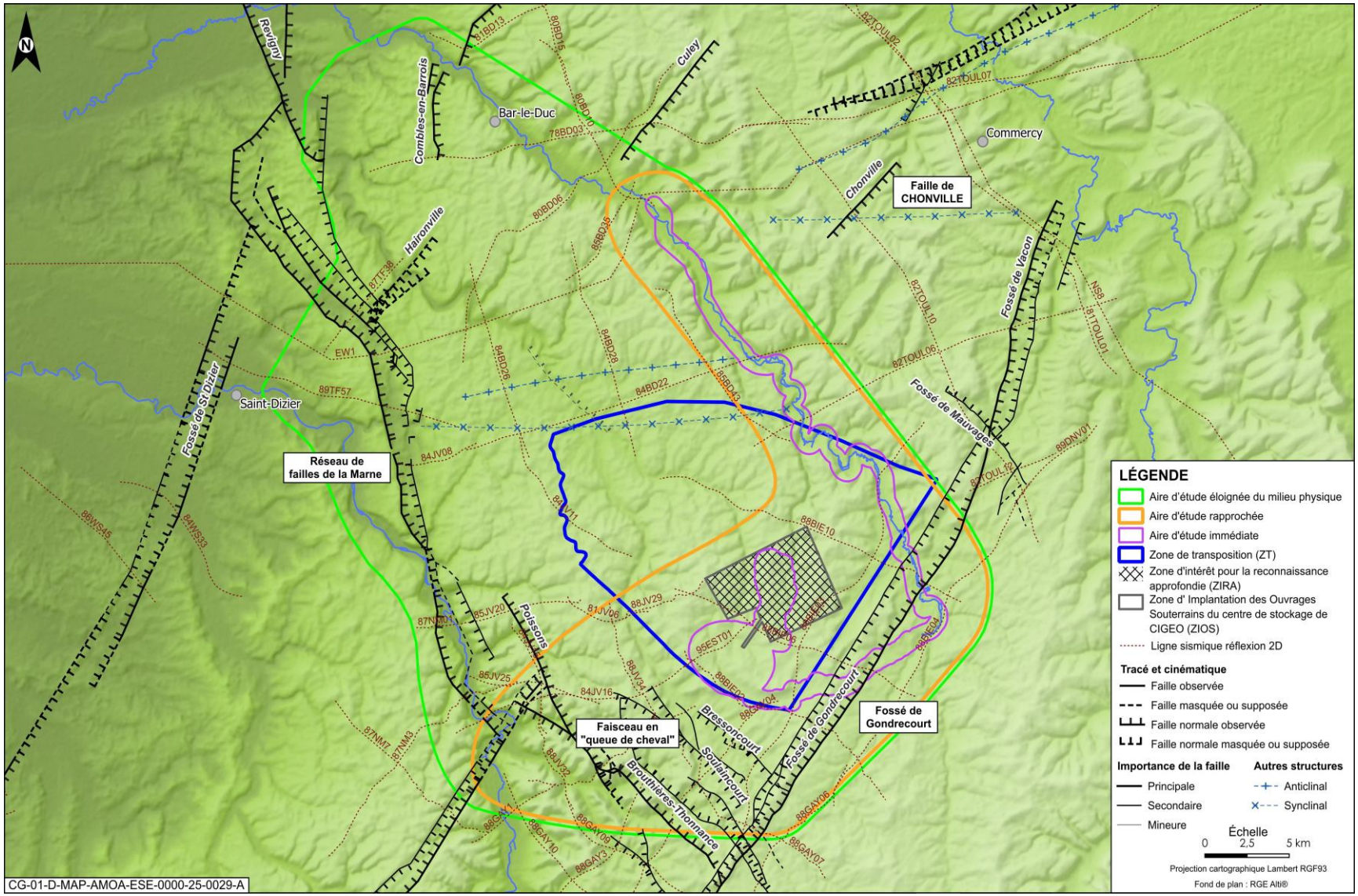


Figure 1-10 Schéma structural du secteur d'étude de Meuse/Haute-Marne

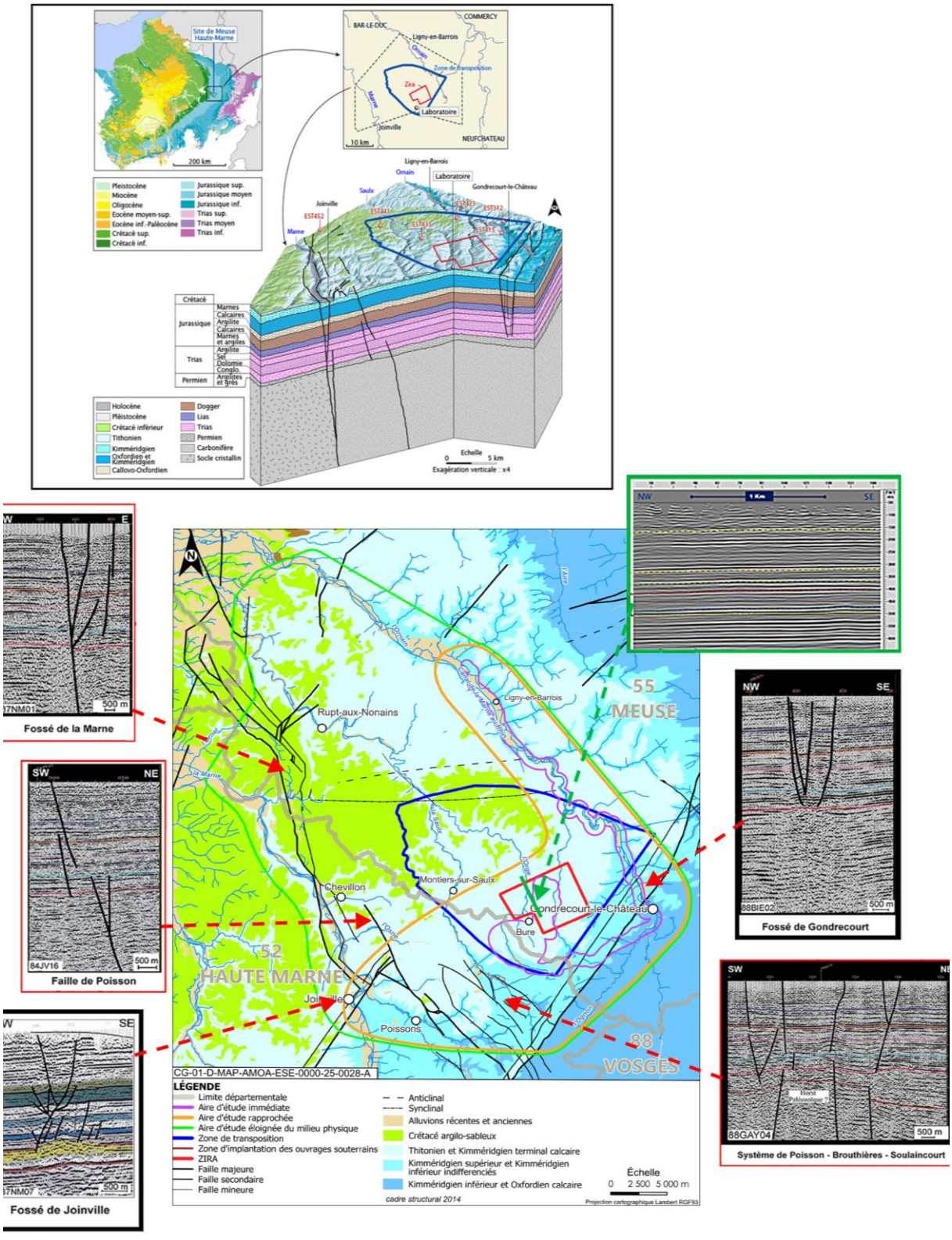
Trois grandes familles de structures tectoniques qui affectent les formations sédimentaires régionales ont été reconnues (cf. Figure 1-10 et figure 1-11) :

- les structures cassantes de socle et couverture qui définissent en surface des fossés tectoniques qui affectent les formations mésozoïques, et qui s'enracinent en profondeur dans le socle paléozoïque (failles de la Marne et fossé de Roches-Bettaincourt) ;
- les structures tectoniques avec découplage socle/couverture ou zone de fracturation diffuse (ZFD) (systèmes de failles de Poissons et de Brouthières-Thonnance-Soulaincourt-Bressoncourt). Ces failles affectent en surface la couverture mésozoïque tout en étant découplées d'autres à l'aplomb, plus profondes et bien visibles qui affectent uniquement la série du paléozoïque ;
- les structures cassantes de couverture qui correspondent à des fossés d'effondrement et qui affectent uniquement la couverture sédimentaire comprise entre le sommet du Permien – base du Trias et la surface (les fossés de Joinville, de Gondrecourt-le-Château et de Vacon).

Aucun indice de déformation néotectonique n'a été reconnu sur l'ensemble de ces failles et systèmes de failles avoisinants et dans leur voisinage[1], l'ensemble des structures étant inactif depuis *a minima* deux millions d'années (Baize *et al.,* 2013 (4)), c'est-à-dire depuis le quaternaire, et plus probablement depuis la dernière phase distensive oligocène, soit depuis les derniers 25 millions d'années (Pagel *et al.,* 2018 (5)).

La robustesse et le croisement de l'ensemble des études et techniques employées et/ou développées depuis plus de vingt ans montrent qu'aucune faille majeure (de rejet vertical supérieur à 10 mètres et d'extension déca kilométrique) ou secondaire (de rejet supérieur à cinq mètres et d'extension plurikilométrique), jusqu'à des profondeurs de 5 km - 6 km au vu de l'interprétation d'anciens profils sismiques pétroliers, n'a été observée sur la zone de transposition dans le Callovo-Oxfordien, ni dans les formations calcaires sus-jacentes. Aucune structure significative ayant un rejet supérieur à deux-quatre mètres n'a été identifiée dans la couche-cible du Callovo-Oxfordien et ses encaissants, au vu des résultats et de la résolution de la sismique 3D haute résolution acquise sur la ZIRA (cf. Chapitre 1.6.3 du présent volume).

[1] Cf. Les bases de données NEOPAL (http://www.neopal.net/), et BDFA, (https://bdfa.irsn.fr)



-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-19-3476-D

Figure 1-11 *Schéma structural et extension des failles et réseaux de failles en profondeur encadrant la zone de transposition*

1.3.3.2 La sismicité régionale

Dans le cadre de la détermination des mouvements sismiques, 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 de l'INB.

Installé dans un rayon de 30 km autour des infrastructures, (cf. Figure 1-12), le réseau d'écoute sismique est composé actuellement de quatre stations sismiques Andra (stations PAGF, MEZF, SAVF et SFTF) et d'une station multipartenaire Résif/LDG/Andra installée en décembre 2017 (ETNF sur la figure 1-12). Ce réseau vient s'ajouter à d'autres maillages nationaux utilisés pour la surveillance régionale et nationale (cf. Figure 1-12) comme celui du réseau sismique numérique (RSN) du CEA/DASE/LDG, ainsi que plus anciennement celui du réseau national de surveillance sismique (RéNass) aujourd'hui fermé. La combinaison et l'emboîtement des différents réseaux visent à disposer de données précises pour caractériser la sismicité locale (dans un rayon de 30 km) et régionale (dans un rayon de 80 km) autour du site d'implantation de l'INB. Ce dispositif permet de i) détecter les événements de très faibles magnitudes, ii) discriminer les événements de très faibles magnitudes d'origines naturelle et anthropique et iii) localiser précisément les épicentres de ces événements de différentes origines. Il permet d'améliorer également la surveillance des failles régionales plus éloignées du site, comme celles de Metz et de Vittel par exemple, en relation éventuelle avec la sismicité de la zone « active » des Vosges (cf. Figure 1-13).

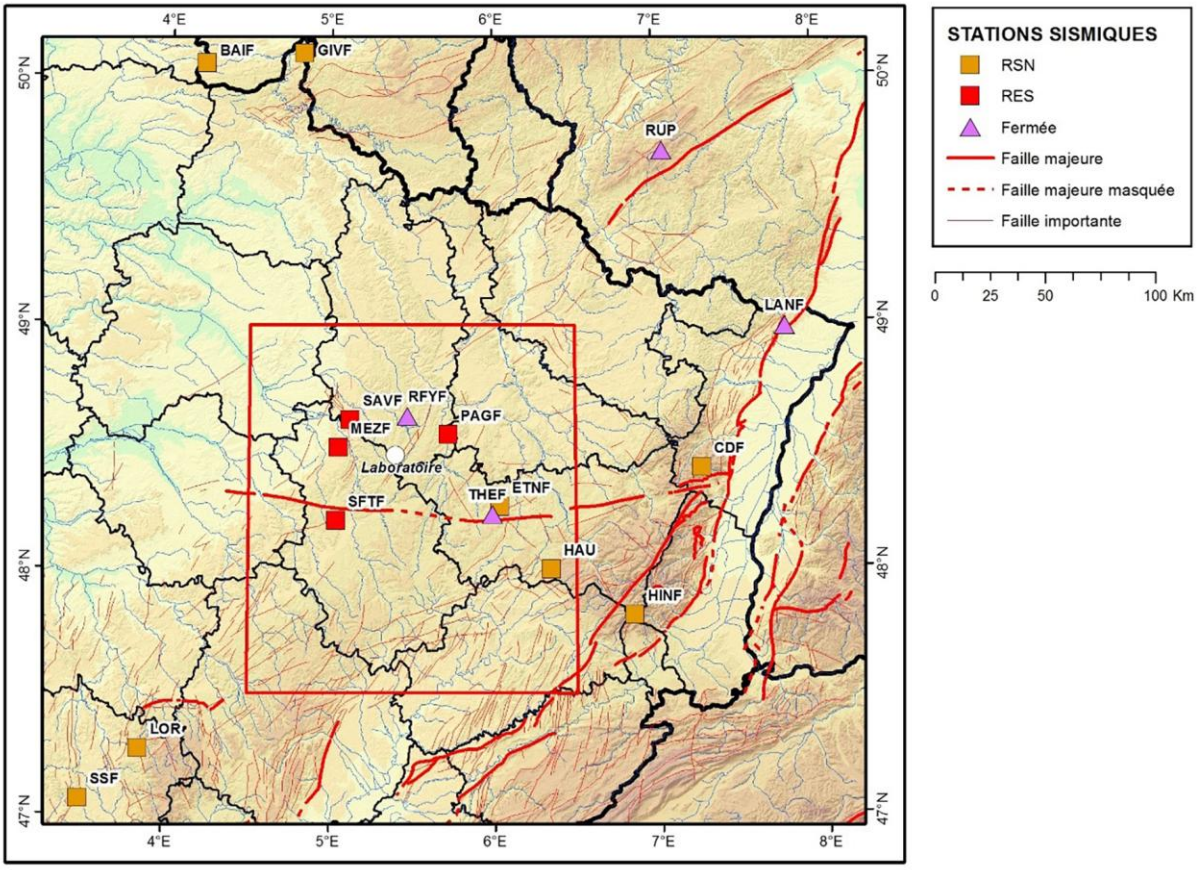


Figure 1-12 *Cartographie présentant la localisation des stations sismiques régionales et des stations sismiques Andra (RES) mises en place dans un rayon de 30 km autour des zones d'implantations de l'INB visualisée par le rectangle rouge*

Pour le site d'implantation, il ressort des 60 ans d'enregistrement et de localisation de la sismicité naturelle acquise par les réseaux nationaux et le RES (depuis 20 ans), une activité sismique faible à modérée avec l'absence d'événement sismique notable à l'échelle régionale (cf. Figure 1-13). Il ressort uniquement les événements du secteur de Remiremont (significativement éloigné de la zone d'implantation, cf. Environ 80 km), à la transition entre les Vosges cristallines et sédimentaires, d'Épinal et de Saint-Dié, ainsi que les événements liés à l'activité sismique des mines du nord-est (bassin sarro-lorrain).

Ainsi, il est visible par ces données, sur plus de 60 ans, que la sismicité est principalement localisée en bordure du Bassin parisien à l'est de l'axe Toul – Langres, confirmant le caractère très peu sismique de la zone autour de l'INB (cf. » rectangle rouge » sur la carte préalable s'étendant sur 30 km autour de la zone d'implantation) en comparaison des zones Vosges et seuil de Bourgogne (cf. Figure 1-13).

Les 60 ans d'observations instrumentales ne mettent en évidence aucune faille active[2] dans le secteur des 50 km entourant le site d'implantation de l'INB.

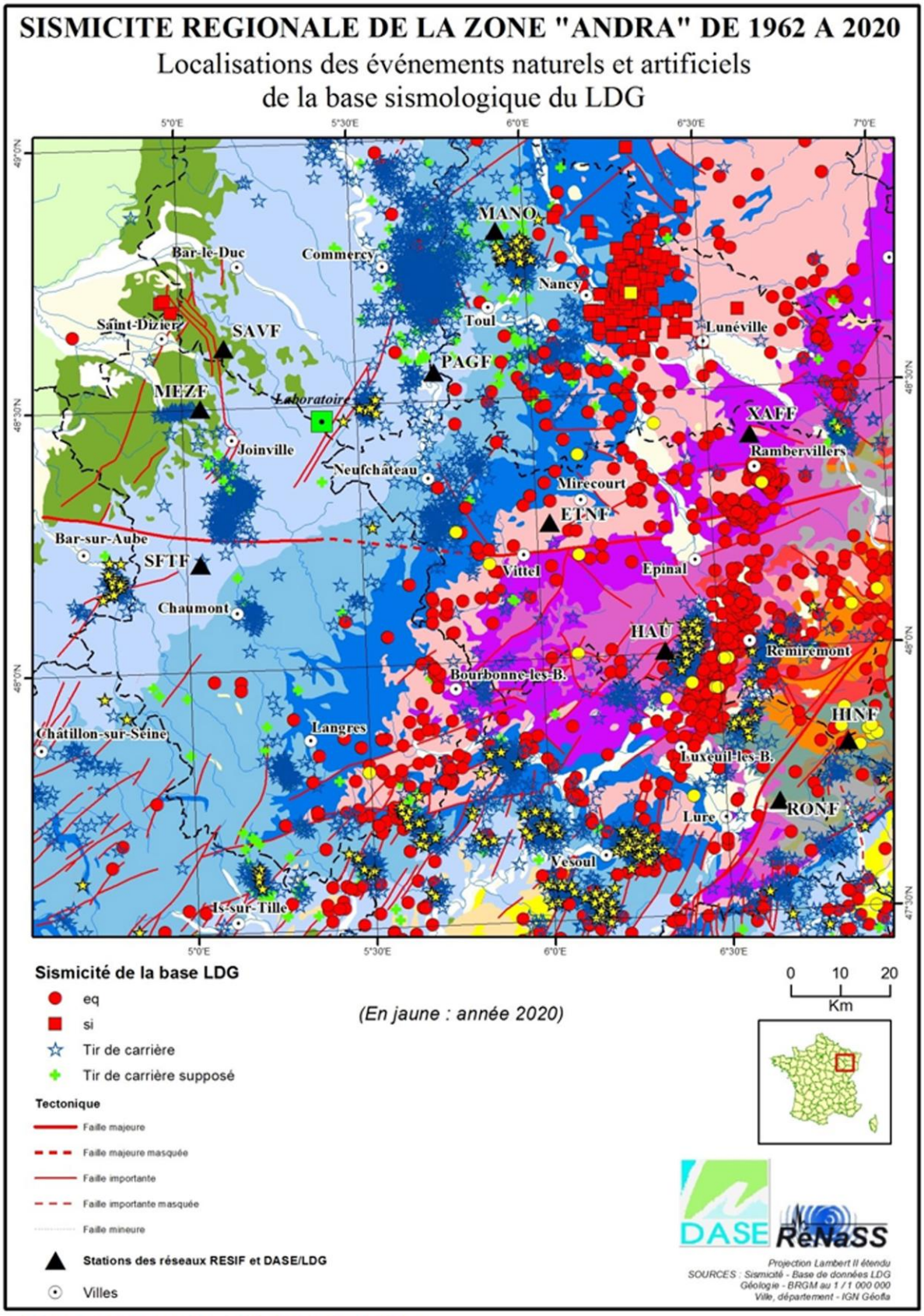
Depuis 2001, par le réseau RES et plus généralement depuis 60 ans par les réseaux nationaux, aucun séisme naturel n'a été localisé à l'ouest d'une ligne Langres-Neufchâteau-Toul, c'est-à-dire à moins de 30 km des installations de l'INB et en direction du centre du Bassin parisien. Il peut juste être relevé en périphérie de cette zone de 30 km :

- en janvier 2004, un séisme très faible de magnitude ML = 0,9 proche de Vitry-le-François ;
- en novembre 2008, un séisme de magnitude ML = 1,7, localisé à 13 km au nord-ouest de Neufchâteau et à un peu plus de 30 km à l'est de la zone d'implantation de l'INB.

Le RES, avec l'acquisition systématique de tous les signaux des événements détectés, quelle que soit leur origine, a mis en évidence une importante activité des carrières locales (étoiles sur la figure 1-13) et ainsi l'occurrence de séisme induit par l'homme correspondant toutefois à des intensités très faibles. Trois séismes induits de ce type ont été enregistrés proche de Saint-Dizier (dép. 55) (cf. Figure 1-13) depuis la mise en œuvre du RES et détectés par la station Andra SAVF (cf. Figure 1-13) située à une quinzaine de kilomètres de distance.

Contrairement aux séismes induits proches de Nancy qui peuvent être rattachés au site de stockage souterrain de gaz naturel de Cerville, ces trois événements peuvent être associés au site de stockage de Trois-Fontaines-l'Abbaye. Ce site a été mis « sous cocon » (*e.g.* En exploitation réduite) depuis 2012, ce qui expliquerait le faible nombre de séismes induits enregistrés par rapport au site de Cerville. D'autre part, ces trois événements se sont produits en pleine nuit et au cœur de l'hiver ce qui correspond tout-à-fait aux périodes d'extraction de gaz.

[2] Quelques séismes de magnitude généralement inférieure à 3,5 ont été localisés à proximité des failles tectoniques les plus proches, dont l'activité quaternaire n'est pas démontrée : ils ne suffisent pas à qualifier une faille active. Inversement, le faible taux d'activité enregistré sur les six décennies d'observations (et de quelques siècles pour les séismes historiques) ne permet pas de conclure au caractère inactif de ces accidents.



CG-TE-D-MGE-AMOA-OBS-0000-22-0002-A

Figure 1-13 *Carte de la sismicité totale (naturelle, induite et tirs de carrière) de 1962 à fin 2020. Légendes : eq : séisme ; si : séisme présumé induit*

LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION DE MEUSE/HAUTE-MARNE

Le site d'implantation de l'INB s'inscrit dans la bordure orientale du Bassin parisien dont l'histoire géologique est bien connue. Ce bassin sédimentaire est en forme de « cuvette » structuré par une succession de couches sédimentaires à dominante argileuse et carbonatée de plus de 1 800 mètres d'épaisseur à l'aplomb du site d'implantation de l'INB. Le Bassin parisien est peu affecté par la tectonique, l'ensemble des structures étant inactif depuis *a minima* deux millions d'années, et plus probablement depuis la dernière phase distensive oligocène, soit depuis les derniers 25 millions d'années. Il s'agit d'une zone remarquable de la plaque ouest européenne, stable et qui se distingue par son caractère pratiquement asismique.

Les travaux de l'Andra menés depuis plus de 25 ans (cartographie géologique, sismiques 2D-3D, forages…) apportent des confirmations et précisions sur le cadre structural ainsi que la litho-stratigraphie et l'organisation spatiale des formations sédimentaires à l'échelle du secteur de Meuse/Haute-Marne. Ils ont permis entre autres de définir en 2005 la zone de transposition d'une superficie de 250 km^2, exempt de failles (cf. Figure 1-10), pour laquelle les propriétés de la formation du Callovo-Oxfordien sont similaires à celles déterminées sur le site du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne.

Les formations plus particulièrement concernées par les installations de l'INB présentent un pendage régulier de l'ordre du degré vers le nord-ouest, en direction du centre du Bassin parisien. La formation argileuse du Callovo-Oxfordien qui est la formation hôte pour l'implantation de l'installation souterraine se situe entre 420 mètres et 604 mètres de profondeur (en considérant le milieu de la couche). Elle est encadrée par deux ensembles carbonatés massifs, faiblement aquifères (formation du Dogger et formation de l'Oxfordien calcaires), non affleurant. Les couches à l'affleurement sur le site d'implantation de l'INB (Kimméridgien marneux dans les vallées et Calcaires du Barrois sur les plateaux), déterminent, par leur structure plane, leur pendage régulier et leurs différences de lithologie, un relief de côte caractéristique, les zones de plateaux étant entaillées par des vallées profondes.

Tableau 1-2 Formations géologique sédimentaires au droit de la zone d'implantation de l'INB

Formation	Age (Ma)	Épaisseur moyenne sur la ZIOS*	Installations concernées	Caractéristiques
Calcaires du Barrois	Tithonien 140 Ma	~40 m	Installations de surface, puits et descenderies	Aquifère de surface
Marnes du Kimméridgien	Kimméridgien 145 Ma	~110 m	Puits et descenderies	Imperméable
Oxfordien Calcaire	Oxfordien supérieur à moyen 150 Ma	~275 m	Puits et descenderies	Peu perméable
Argilites du Callovo-Oxfordien	Oxfordien inférieur-Callovien supérieur à moyen 160 Ma	~150 m	Descenderies, puits et zone de stockage	Formation hôte
Dogger calcaire	Callovien inférieur-Dogger 165 Ma	~230 m		Peu perméable

** Épaisseur considérée au barycentre de la ZIRA*

1.4 Les formations géologiques à l'affleurement

1.4.1 Les Calcaires du Barrois

Les Calcaires du Barrois (formation du Jurassique supérieur) se trouvent à l'affleurement sur la plus grande partie de la zone de transposition. Les corrélations entre forages ont montré, à l'échelle de cette zone et au-delà, la continuité latérale de la formation ainsi que les faibles variations d'épaisseur des unités lithologiques qui la composent (cf. Le référentiel, tome I « L'histoire géologique et l'état actuel » (2)).

La formation, constituée de six unités lithologiques carbonatées distinctes, a, lorsqu'elle est complète (essentiellement au nord-ouest de la zone de transposition), une épaisseur totale de l'ordre de 140 mètres (cf. Figure 1-14).

Ces six unités sont du haut vers le bas :

- les calcaires tubuleux, épais de deux mètres, sont des calcaires micritiques fortement stylolitisés à petites poches oolithiques blanches altérables ;
- les calcaires tachetés et les calcaires cariés d'épaisseur moyenne de 35 mètres présentent une très faible variabilité lithologique et sont constitués de calcaires micritiques à interbancs de calcaire argileux, d'alternances de calcaires micritiques et de calcaires bioclastiques en proportions variables ;
- 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 mètres à 65 mètres environ sont constitués de calcaires argileux, dolomitiques et bioclastiques se terminant par des calcaires sublithographiques caverneux ;
- la Pierre Châline d'une épaisseur variant de 10 mètres à 15 mètres environ est formée d'une alternance de niveaux coquilliers, de calcaires à foraminifères et débris de coquilles, de calcaires micritiques et de marnes ;
- les Calcaires sublithographiques, d'une épaisseur de 20 mètres à 25 mètres environ sont constitués de calcaires micritiques homogènes à inter bancs marneux fins et de rares niveaux bioclastiques peu épais.

L'épaisseur de la formation des Calcaires du Barrois est variable géographiquement du fait du pendage des couches vers le nord-ouest et de la topographie. Le pendage induit une augmentation vers le nord-ouest de l'épaisseur moyenne préservée et se marque à l'affleurement par la présence d'unités lithologiques des Calcaires du Barrois de plus en plus récentes dans cette même direction. La topographie module cette tendance avec, à l'affleurement, les unités les plus jeunes (et les épaisseurs les plus fortes) sur les sommets et les plus anciennes (et les épaisseurs les plus faibles) dans les vallées.

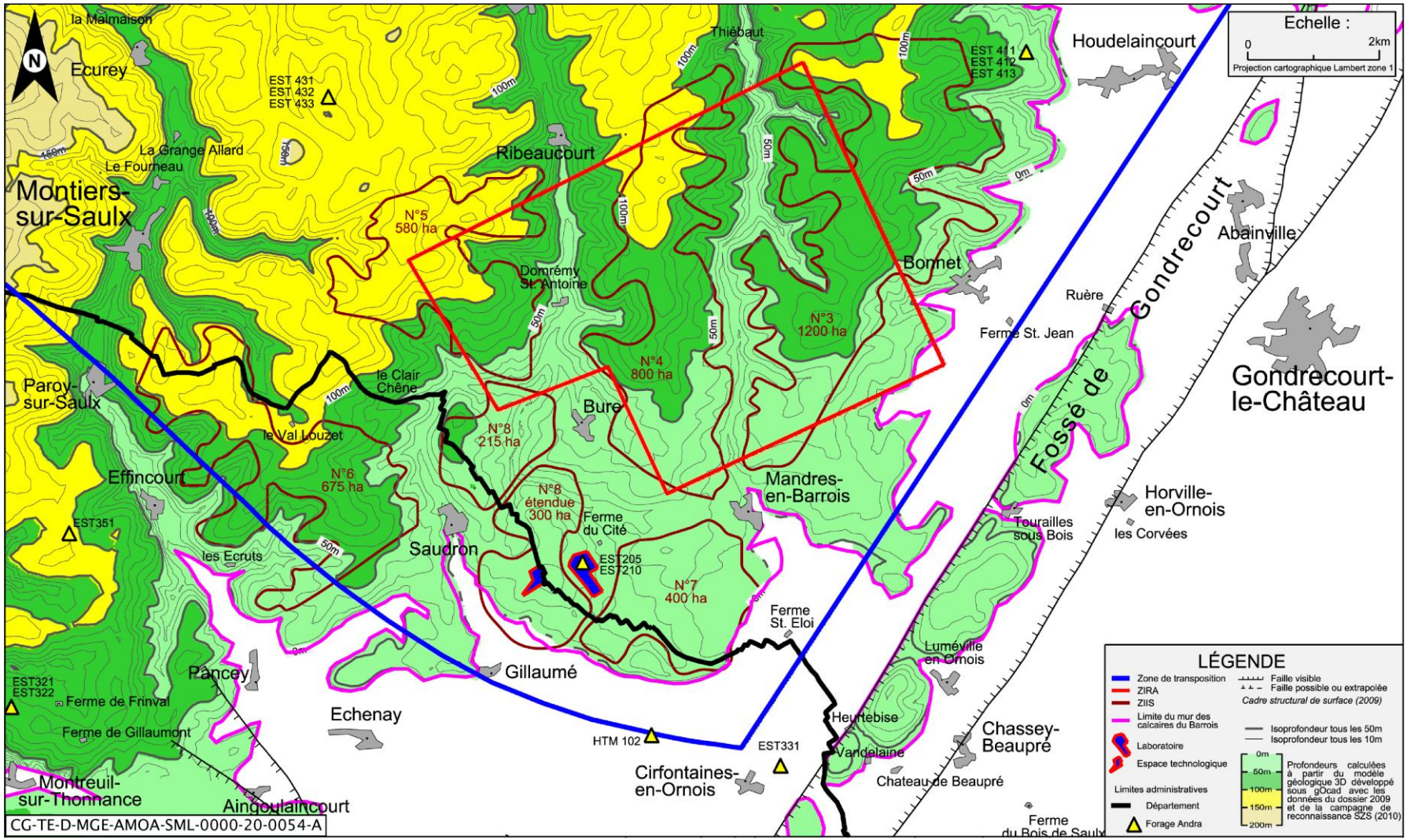


Figure 1-14 *Carte de l'épaisseur (m) des Calcaires du Barrois et des formations plus récentes (sur la zone d'implantation et de recherche approfondie, cette épaisseur correspond à l'épaisseur des Calcaires du Barrois)*

À l'aplomb de la zone puits, la formation est représentée depuis la base par les Calcaires sublithographiques, la Pierre Châline, les Calcaires de Dommartin inférieurs, l'Oolithe de Bure et quelques mètres des Calcaires cariés pour une épaisseur cumulée d'environ 100 mètres. Du sud-est au nord-ouest de la zone, affleurent la quasi-totalité des Calcaires de Dommartin, l'Oolithe de Bure (sur une surface limitée du fait de sa faible épaisseur) et la base des Calcaires cariés.

Sur toute la zone descenderie, les Calcaires sublithographiques et la Pierre Châline sont présents. Les Marnes à Exogyres du Kimméridgien sur lesquelles repose la formation des Calcaires du Barrois sont également présentes à l'affleurement en bordure sud-ouest de la zone.

L'Oolithe de Bure et la Pierre Châline sont des couches semi-perméables qui séparent trois aquifères superposés : un aquifère supérieur contenu dans les Calcaires tubuleux, les Calcaires tachetés et les Calcaires cariés, un aquifère médian contenu dans les Calcaires de Dommartin et un aquifère inférieur contenu dans les Calcaires sublithographiques reposant sur les Marnes du Kimméridgien imperméables (cf. Chapitre 1.3.2 du présent volume).

Dans cette formation caractérisée par des faciès à matrice fine (micrite), la porosité matricielle est faible. Les capacités aquifères sont essentiellement dues à la fracturation parfois intense et à la karstification qui permettent une infiltration et des circulations rapides de l'eau ainsi que des pertes dans les cours d'eau qui les traversent. À l'échelle de la zone descenderie, la fracturation est très intense sous la surface et peut affecter un intervalle jusqu'à 20 mètres d'épaisseur environ. Les structures karstiques sont des drains ouverts centimétriques parallèles à la stratification et des diaclases élargies par dissolution. Sur la zone puits et la ZIRA, la fracturation sous la surface peut être plus épaisse (jusqu'à 40 mètres environ). Il apparaît que l'extension verticale est limitée par la présence d'intervalles plus marneux. Les structures karstiques sont également limitées à des drains ouverts et des diaclases élargies par la dissolution. Des conduits de plus grandes dimensions (karst exploré par des spéléologues) sont connus au nord et au nord-ouest au-delà des zones d'intérêts sous couverture crétacée.

1.4.2 Les Marnes du Kimméridgien

Les Marnes du Kimméridgien ou Marnes à Exogyres sont une formation à dominante marneuse caractérisée par la superposition très régulière de trois niveaux argilo-marneux, séparés par deux niveaux plus carbonatés (« Calcaires blancs »). À l'échelle de la zone de transposition, ces unités lithologiques se corrèlent et ne présentent qu'une variabilité verticale de quelques mètres.

L'épaisseur de la formation est relativement constante à l'échelle de la zone puits et de la zone descenderie et varie d'environ 100 mètres à 110 mètres. Elle atteint environ 120 mètres sur la zone de transposition.

À l'échelle de la zone puits et de la zone descenderie, sur la base des observations et épaisseurs relevées dans les puits d'accès du Laboratoire de recherche souterrain (cf. Le référentiel, tome I « L'histoire géologique et l'état actuel » (2)), on distingue du sommet vers la base (Figure 1-15) :

- les Marnes à Exogyres supérieures, épaisses d'environ 45 mètres constituées de marnes grises à Exogyres plus ou moins argileuses avec des bancs calcaires très bioclastiques plus fréquents vers le sommet faisant la transition avec les Calcaires du Barrois puis une succession de bancs marno-argileux sombres et de marnes légèrement carbonatées ;
- les Calcaires blancs supérieurs, épais de 15 mètres environ, constitués de calcaire argileux parfois bioclastiques et de marne bioclastique ;
- les Marnes à Exogyres moyennes, épaisses de 20 mètres environ, formées de marnes sombres à huîtres à passées et nodules carbonatés et nombreux bioclastes ;
- les Calcaires blancs inférieurs, épais de 12 mètres environ, formés de calcaire micritique à huîtres et de passées marneuses à nodules carbonatés ;
- les Marnes à Exogyres inférieures épaisses de 16 mètres environ et constituées de marnes noir sombre à huîtres, riche en matière organique, à rares bioclastes, nodules et passées carbonatées.

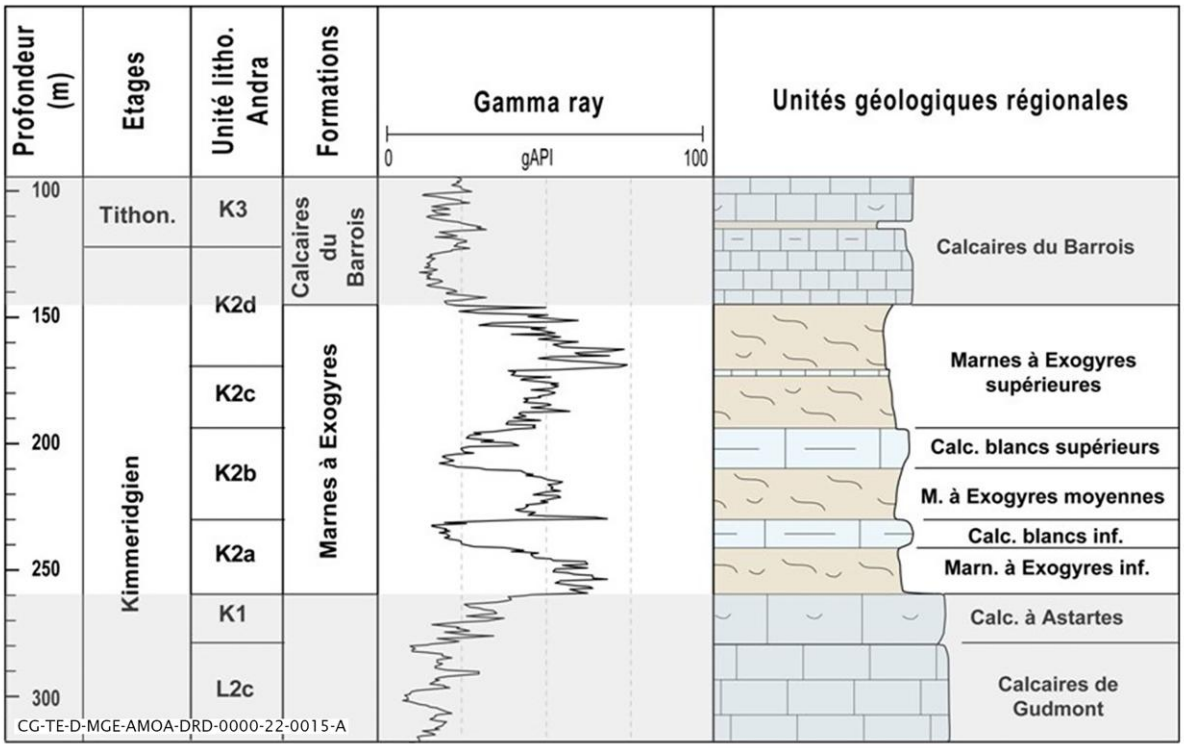


Figure 1-15 Grands ensembles lithologiques du Kimméridgien marneux

Les Marnes du Kimméridgien affleurent le long de la bordure ouest de la zone descenderie sur le flanc de la vallée de l'Orge. La surface de cette formation à l'affleurement sera augmentée artificiellement par les travaux d'aménagement de la zone descenderie et le décapage des Calcaires du Barrois. Elle sera également recoupée verticalement par les puits d'accès au niveau de la zone puits mais aussi obliquement par la descenderie sur une longueur cumulée d'environ 1 020 mètres.

Synthèse des caractéristiques des formations géologiques à l'affleurement

La formation des Calcaires du Barrois dont l'épaisseur peut atteindre 150 mètres lorsqu'elle est complète est largement dominante à l'affleurement sur la zone d'installation des ouvrages souterrains et sur la zone descenderie. L'épaisseur préservée varie géographiquement sous les effets combinés du pendage vers le nord-ouest (épaisseur préservée augmentant dans cette direction) et de l'érosion du relief actuel (épaisseur préservée de la formation plus importante sur les points hauts). La géométrie de cette formation est précisément établie par modélisation calée sur de nombreux forages sur et à proximité des zones d'intérêts (zone d'implantation des ouvrages souterrains, zone puits et zone descenderie). Les intervalles plus calcaires rencontrés dans les Calcaires du Barrois ont subi une fracturation et une karstification parfois intenses qui permettent une infiltration et des circulations rapides de l'eau ainsi que des pertes dans les cours d'eau qui les traversent.

Les Marnes à Exogyres ou Marnes du Kimméridgien sont une formation à dominante marneuse caractérisée par la superposition très régulière de trois niveaux argilo-marneux, séparés par deux niveaux plus carbonatés. À l'échelle de la zone de transposition, cette superposition ne présente qu'une variabilité verticale de quelques mètres. La géométrie et les propriétés de cette formation sont bien représentées par le modèle géologique. La partie supérieure de la formation est présente à l'affleurement en bordure ouest de la zone descenderie et en bordure sud-est de la zone d'implantation des ouvrages souterrains. Elle n'est présente qu'en profondeur à l'aplomb de la zone puits.

1.5 L'Oxfordien carbonaté : formation encaissante sus-jacente au Callovo-Oxfordien

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 mètres à 335 mètres environ). Sur la ZIRA investiguée par la sismique 3D, cette formation a une épaisseur moyenne de 280 mètres.

Les Calcaires de l'Oxfordien se caractérisent par des variations de faciès tant verticalement que latéralement. La transition entre la formation du 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 (faciès C3a sur la figure 1-16). 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 l'extension et de la continuité des différents faciès découlent la distribution et l'extension de niveaux ou horizons poreux (Hp) identifiés comme ayant les perméabilités et les porosités les plus élevées dans cette formation (perméabilités supérieures à 10^{-8} m.s^{-1}).

Les différentes données directes et indirectes collectées montrent que les caractéristiques de l'Oxfordien carbonaté sont globalement équivalentes à celles déterminées au Laboratoire souterrain (cf. Le référentiel, tome I « L'histoire géologique et état actuel » (2)). Elles peuvent se résumer ainsi :

- Les 20 premiers mètres de l'Oxfordien carbonaté sont constitués d'une alternance de marnes, de calcaires argileux aux caractéristiques très proches de celles de l'unité silto-carbonatée du Callovo-Oxfordien sous-jacente. Une vingtaine de mètres de calcaires récifaux de faible perméabilité (quelques 10^{-11} m.s^{-1} à quelques 10^{-12} m.s^{-1}) vient au-dessus ;
- l'unité sus-jacente, d'une centaine de mètres d'épaisseur, regroupe des faciès fins de lagon poreux et perméables (quelques 10^{-8} m.s^{-1} à quelques 10^{-7} m.s^{-1}) et des calcaires cimentés très peu poreux et de faible perméabilité. À l'aplomb du laboratoire, ces faciès de lagon s'organisent en quatre niveaux poreux discontinus (Hp1 à Hp4) qui atteignent une épaisseur cumulée de près de 80 mètres environ. 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 sont constitués d'une succession de bancs d'une série marneuse intercalés entre des niveaux de Calcaires oolithiques. Au sommet de chacun de ces niveaux calcaires correspond un niveau plus poreux et perméable. Au total, trois niveaux aquifères (Hp5 à Hp7) d'épaisseur comprise entre 5 mètres et 10 mètres environ et de perméabilité moyenne autour de quelques 10^{-7} m.s^{-1} ont été reconnus. Au niveau du Laboratoire de recherche souterrain, les perturbations provoquées par le drainage des puits montrent que les ensembles Hp1 à Hp4, Hp5, et Hp6 à Hp7 sont hydrauliquement indépendants. Dans la partie est et nord-est, la série marneuse (Série grise) s'exprime en bancs de plus en plus épais et créée 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 de la zone de transposition et le Laboratoire de recherche souterrain étant assurée, les transferts possibles entre les horizons poreux inférieurs et supérieurs et entre chaque horizon Hp5 à Hp7 sont limités sur la ZIRA. Dans la partie sud-ouest de la zone de transposition, 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.

Dans tous les niveaux poreux aquifères de l'Oxfordien, les transferts sont à la fois convectifs (horizontaux) et diffusifs. L'état thermique actuel de l'Oxfordien carbonaté est considéré à l'équilibre. Le gradient de température initial à travers cette formation est d'environ 2,5 °C/100 m.

Le transfert thermique se fait par conduction. La conductivité thermique perpendiculaire pour l'Oxfordien carbonaté est estimée à environ 2,2 W/m/°K.

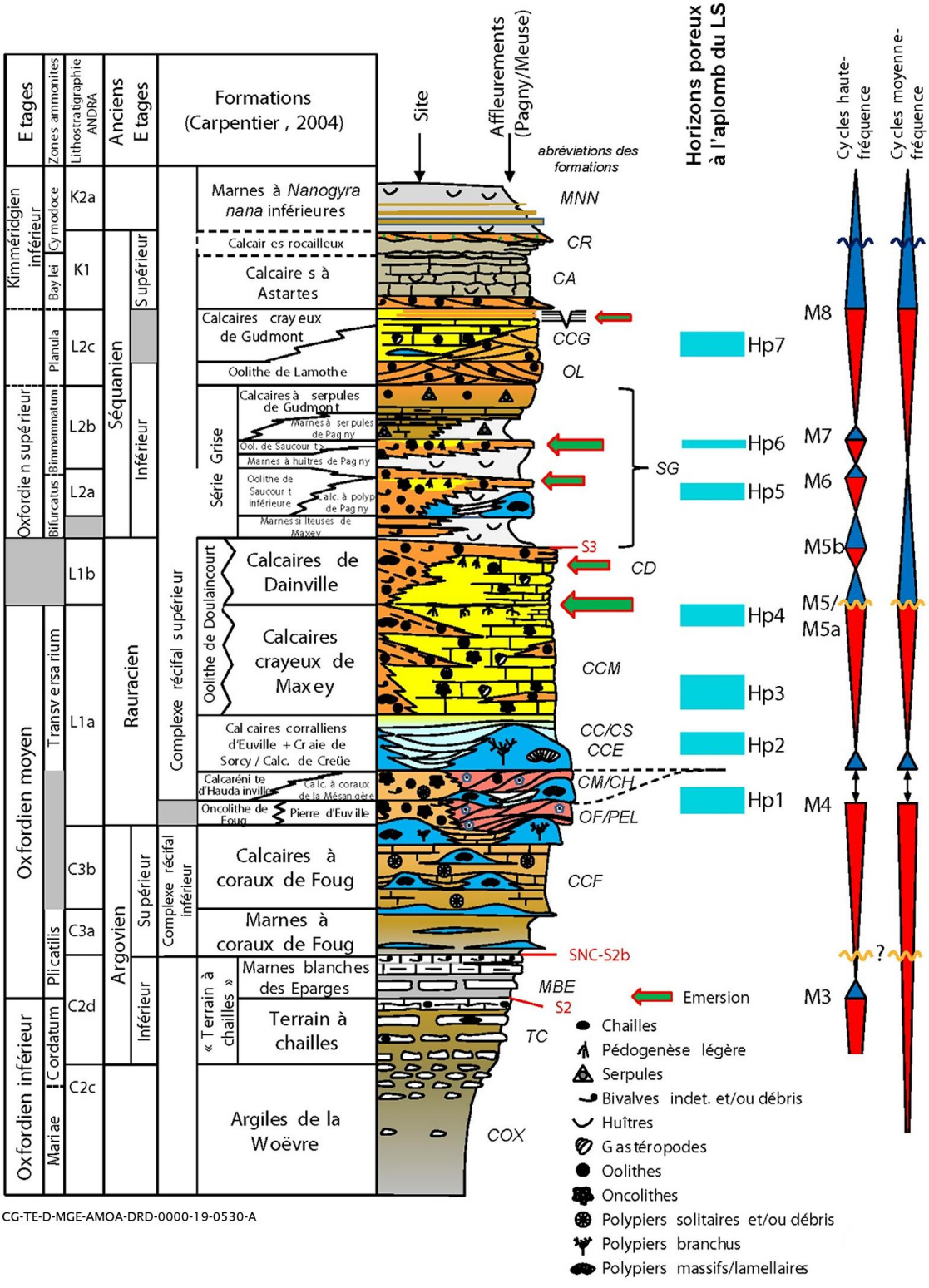


Figure 1-16 Log stratigraphique de la formation encaissante de l'Oxfordien

Synthèse sur l'Oxfordien carbonatée

Les propriétés hydrodynamiques actuelles de l'Oxfordien carbonaté sont principalement contraintes par le type de faciès et la diagenèse qui s'est surimposée. Ainsi, les faciès granulaires, initialement très perméables ont été cimentés par des phases successives de calcite qui ont réduit la porosité et la perméabilité. *A contrario*, la préservation d'une partie de la porosité primaire dans des faciès micritiques sous l'effet d'une diagenèse précoce et l'existence de phénomènes diagenétiques postérieurs ayant transformé la porosité primaire en microporosité ont permis la création et/ou le maintien de niveaux poreux. Les reconstitutions paléogéographiques issues des forages et de la sismique 2D ainsi que la bonne connaissance de l'histoire diagénétique permettent de connaitre assez précisément la répartition des niveaux poreux aquifères sur la zone d'implantation de l'INB.

À l'aplomb de la zone descenderie et sur le tracé des liaisons surface-fond (descenderies et puits), trois ensembles de niveaux poreux sont séparés par des intervalles marneux appartenant à la série grise. Ces niveaux marneux sont isolés d'un point de vue hydrogéologique. La réduction d'épaisseur des niveaux marneux de la série grise permet au nord-ouest sur la zone de transposition, la connexion entre ces niveaux poreux.

1.6 La formation hôte des ouvrages souterrains : la couche du Callovo-Oxfordien

La formation dite du Callovo-Oxfordien est une couche à dominante argileuse, épaisse, à la lithologie peu variée. 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 ».

La formation du Callovo-Oxfordien est encadrée par les formations calcaires du Bathonien ou calcaires du Dogger (cf. Chapitre 1.7.1 du présent volume) et de l'Oxfordien carbonaté (cf. Chapitre 1.5 du présent volume).

1.6.1 Une formation de grande épaisseur et localisée à une profondeur importante

Un modèle géométrique 3D de la formation du Callovo-Oxfordien (et de ses formations encaissantes) a été développé progressivement depuis le début des années 2000 au fur à mesure des campagnes de reconnaissance que l'Andra a mené. Ce modèle géométrique 3D agrège de manière cohérente, toutes les données acquises et les interprétations associées, à l'échelle régionale, à l'échelle de la zone de transposition (forages, campagne sismique 2D) et à l'échelle du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne. Avec la campagne sismique 3D haute-résolution réalisée en 2009-2010 sur la zone d'intérêt pour une recherche approfondie (ZIRA), il a atteint un niveau de maturité important, en termes de détails et de précision.

Ainsi, les limites de la formation du Callovo-Oxfordien et son épaisseur sont caractérisées précisément :

- sur la zone de transposition, son épaisseur augmente de 130 mètres à 162 mètres environ du sud-ouest vers le nord-est selon la principale direction des apports de sédiments (cf. Chapitre 1.6.2 du présent volume) ;
- sur la ZIRA, elle est comprise entre environ 142 mètres à 162 mètres du sud-ouest vers le nord-est, conformément à la principale direction des apports de sédiments. L'épaisseur de la formation du Callovo-Oxfordien au barycentre de cette zone est de l'ordre de 150 mètres (cf. Figure 1-17).

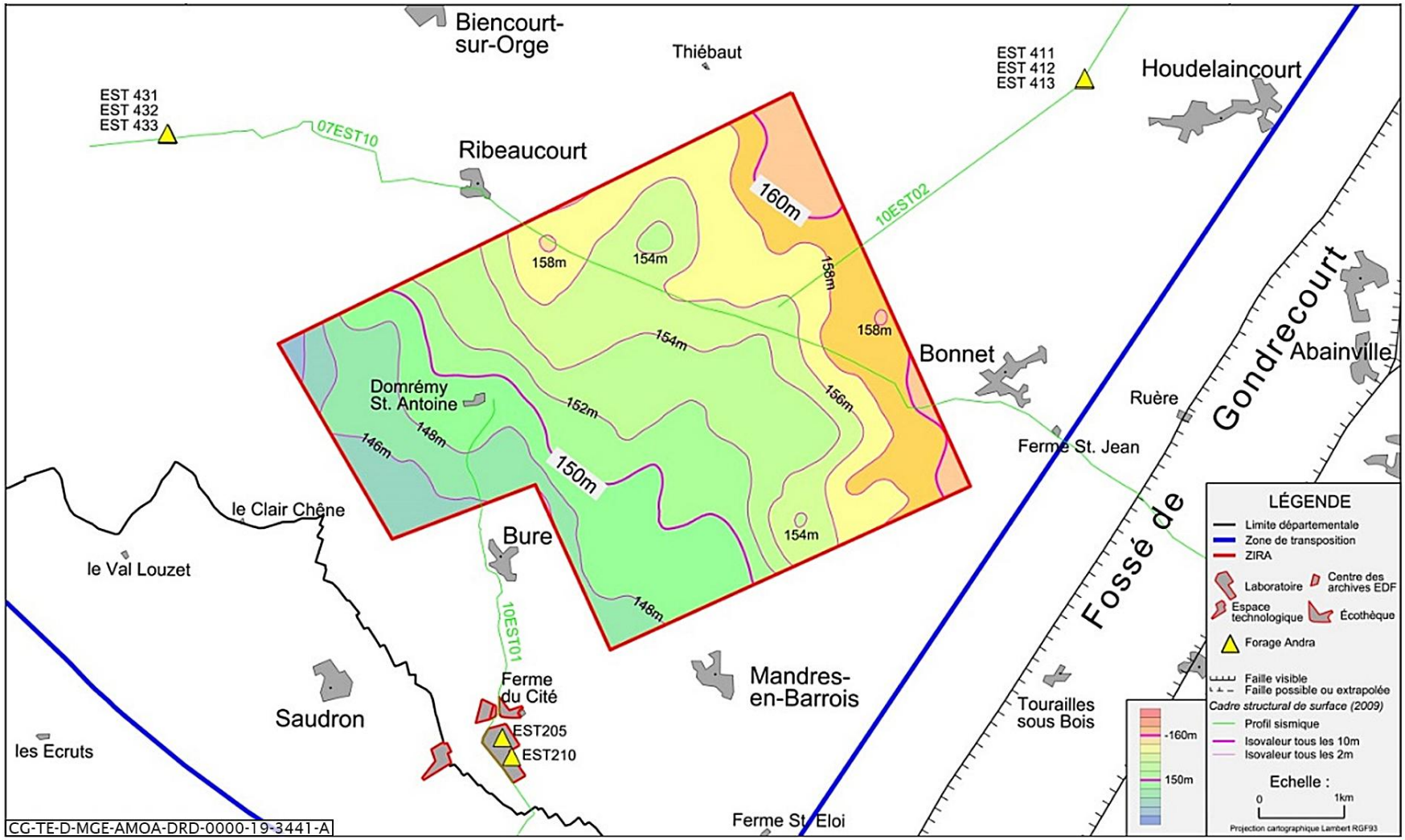


Figure 1-17 Épaisseur de la formation du Callovo-Oxfordien sur la ZIRA (distance en mètres entre la base et le toit de la formation

Les cartes des altitudes du toit et du mur du Callovo-Oxfordien (comptées par rapport au niveau de la mer fixé à 0 m NGF (nivellement général de France) du socle de connaissance (cf. Figure 1-18 et la figure 1-19) montrent un approfondissement progressif vers le nord-ouest (centre du bassin de Paris) et sont globalement parallèles entre elles. Pour une surface donnée, la différence maximale d'altitude sur la zone d'implantation des ouvrages souterrains est de 110 mètres environ. L'allure des courbes exclue la présence de discontinuités structurales dont le rejet serait supérieur à deux mètres – quatre mètres.

Elle permet également de confirmer le pendage régulier de l'ordre du degré vers le nord-ouest de la formation du Callovo-Oxfordien conformément à l'ensemble de la pile sédimentaire dans ce secteur du Bassin parisien et l'absence de discontinuité structurale d'un rejet supérieur à deux-quatre mètres.

Sur la zone d'implantation des ouvrages souterrains, le sommet de la couche est situé entre environ 340 mètres et 530 mètres de profondeur et le mur entre environ 500 mètres et 675 mètres (cf. Figure 1-20). Au droit de la zone puits, l'épaisseur de la couche est de l'ordre de 150 mètres et son sommet est rencontré à une profondeur de 443 mètres.

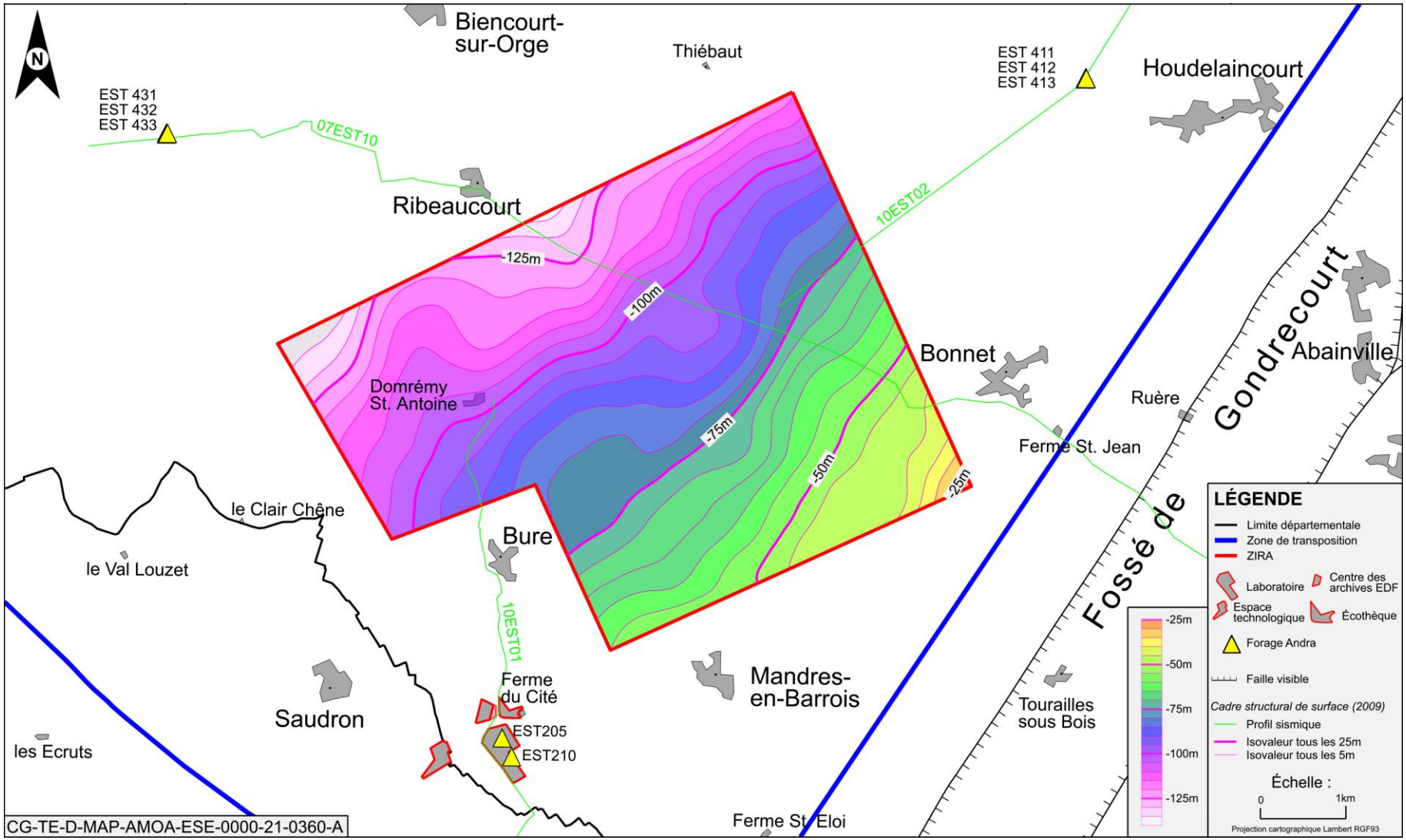


Figure 1-18 Carte de l'altitude du toit du Callovo-Oxfordien (SNC) sur la ZIRA (en mètres)

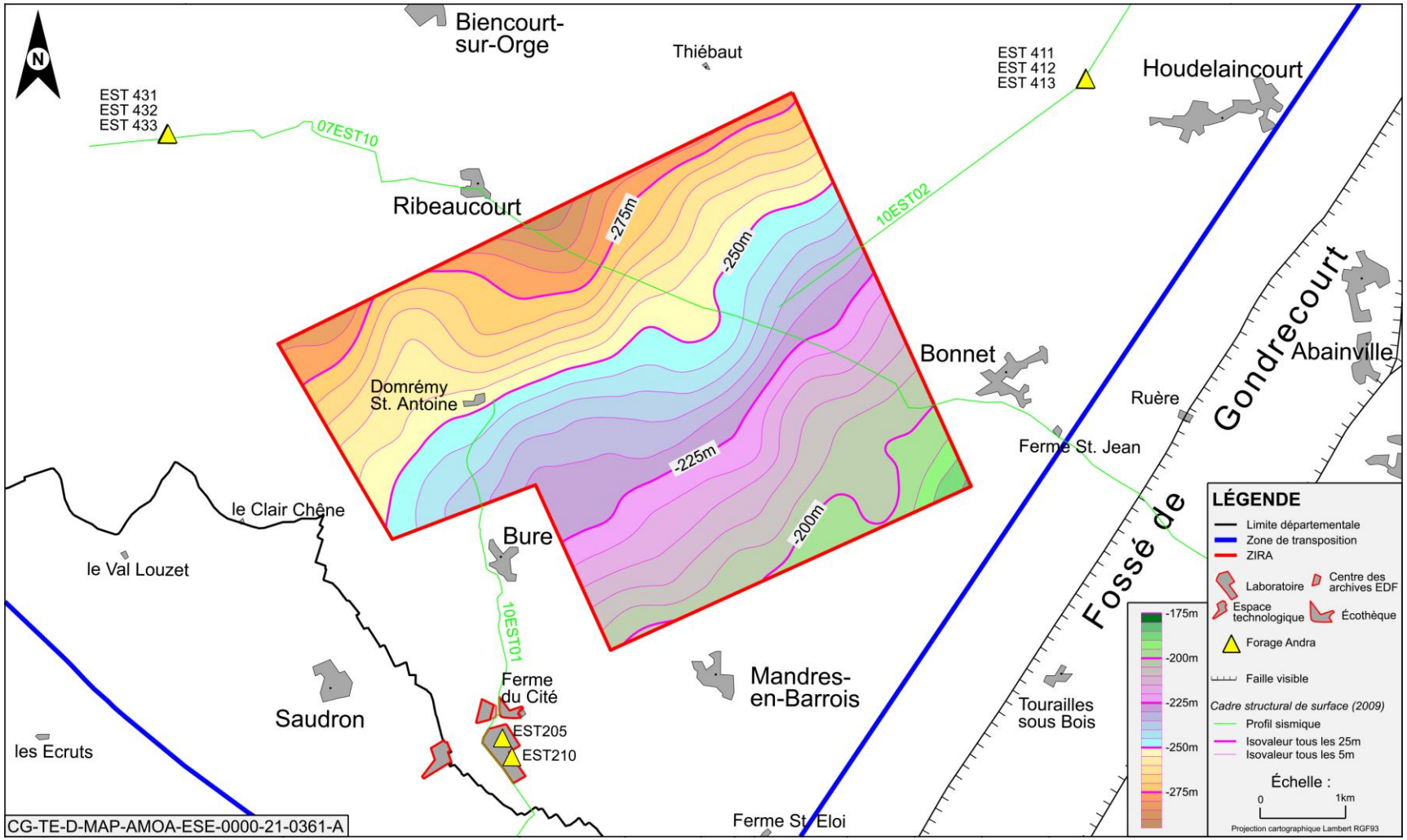
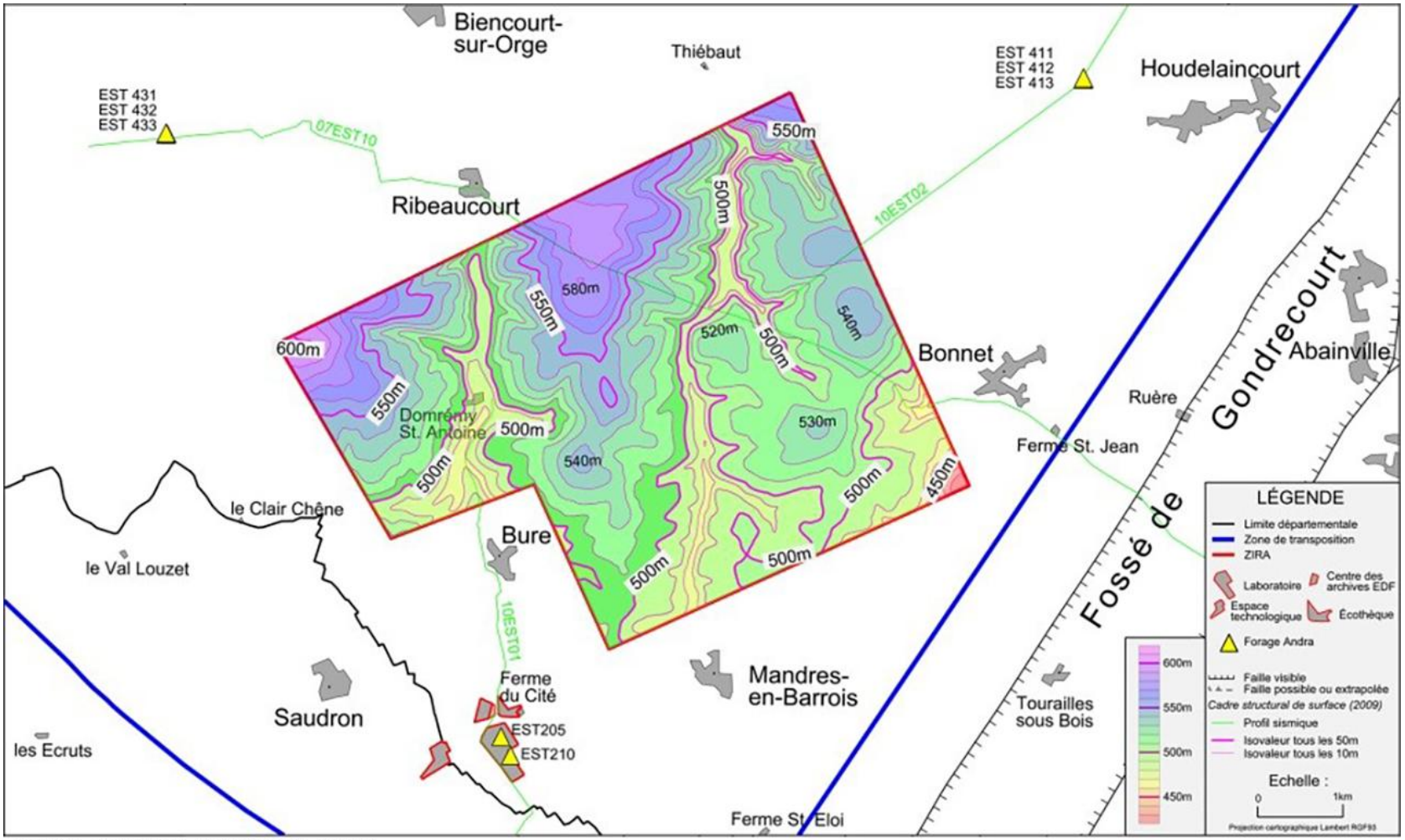


Figure 1-19 Carte de l'altitude du mur du Callovo-Oxfordien (LS0) sur la ZIRA (en mètres)

En l'état des connaissances actuelles, compte tenu des méthodes de traitement appliquées aux données issues de l'acquisition sismique 3D, les profondeurs du mur et du toit de la formation du Callovo-Oxfordien au niveau de la zone d'implantation des ouvrages souterrains sont estimées à ± 10 mètres près. L'incertitude sur l'épaisseur de la couche du Callovo-Oxfordien est inférieure à 10 mètres.



CG-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-21-0657-A

Figure 1-20 *Profondeur du mur du Callovo-Oxfordien sur la ZIRA qui représentent l'intervalle en mètre entre la surface topographique et la carte d'altitude du mur du Callovo-Oxfordien*

1.6.2 Une formation de grande continuité lithologique latérale

La formation du Callovo-Oxfordien est décrite comme une « argilite » définie comme une roche indurée à dominante argileuse (cf. Figure 1-21). Sur les 2/3 de l'épaisseur de la formation (depuis sa base), les argilites sont identifiées comme des marnes plus ou moins silteuses et carbonatées avec la présence localement de bioturbations constituées de pyrite. Des faciès plus carbonatés et silteux composés de roches de type calcaires argileux et silteux ou des siltites carbonatées sont décrits dans le tiers supérieur de la formation en alternance avec des argilites. La description des variations de faciès de la formation du Callovo-Oxfordien, très bien connue régionalement et dépendant essentiellement de ses conditions de dépôt, a été établie facilement sur tous les forages réalisés dans la zone de transposition et au-delà, à partir de l'observation des carottes ou des mesures *in situ* en forages.

La région de Meuse/Haute-Marne représente à cette époque un environnement marin ouvert de faible profondeur (50 mètres à 100 mètres) où les courants marins sont faibles et peu changeants de direction globalement nord-sud. Les massifs hercyniens émergés, constituant les sources d'apports en sédiments, se situent à plus de 100 km comme le massif « Londres-Brabant », correspondant aux actuelles Ardennes. Ces conditions de dépôt et l'éloignement des sources d'apport expliquent la granulométrie fine des particules détritiques d'argiles et de tectosilicates provenant de ces massifs et constituant la formation du Callovo-Oxfordien.



Figure 1-21 *Photographie d'un échantillon d'argilite du Callovo-Oxfordien prélevé dans un forage du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (unité argileuse UA)*

Au cours de la période de dépôt de la formation du Callovo-Oxfordien, les variations du niveau marin relatif ainsi que les changements dans la morphologie du Bassin parisien provoquent des variations bathymétriques de grande ampleur s'exprimant en trois séquences sédimentaires de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur à l'origine des légères variations verticales de faciès observées au sein de la formation. L'analyse séquentielle haute-résolution appliquée aux diagraphies des forages de la zone de transposition et au-delà (corrélation des données de mesures gamma et résistivité et sonique) a permis de reconnaître, dans la formation, ces trois séquences sédimentaires correspondant à des cycles de dépôts des sédiments marins de grande extension. Celles-ci bien différenciées, s'organisent en corps sédimentaires progradant depuis les Ardennes au nord du Bassin parisien jusqu'au bord de la Bourgogne au sud (cf. Figure 1-22). Parfaitement repérables sur les données acquises en forage, les surfaces remarquables identifiées au sein et entre chaque séquence ont permis de reconstituer précisément la géométrie des corps sédimentaires, leur succession chronologique sur de longues distances (englobant largement la zone de transposition) et de proposer une interprétation de la dynamique de mise en place de la formation du Callovo-Oxfordien. La détermination systématique des fossiles trouvés dans les carottes, particulièrement les ammonites, a permis de fournir un cadre chronostratigraphique précis aux dépôts du Callovo-Oxfordien et de contraindre temporellement les interprétations séquentielles.

Les limites de la formation du Callovo-Oxfordien sont définies par convention, afin de disposer d'un niveau continu aux propriétés de transport et de rétention favorables et peu variables sur la zone de transposition. Le mur de la couche, ou mur de la séquence sédimentaire inférieure nommée LS0, correspond à l'arrivée des premières argilites déposées de manière continue sur tout le secteur. Le toit de la formation hôte arque un changement de contexte sédimentaire depuis une sédimentation de bassin vers une sédimentation de plate-forme récifale.

La formation du Callovo-Oxfordien est composée de trois phases minéralogiques principales (cf. Figure 1-23) :

- une phase argileuse dominante composée principalement d'illite et de minéraux interstratifiés illite – smectite. Elle représente en moyenne 40 % à 45 % de la roche pour l'ensemble de la formation, mais leur concentration change en fonction des variations bathymétriques (localement jusqu'à 60 %) ;
- une phase carbonatée constituée de calcite (80 % de la totalité des minéraux carbonatés) et de dolomite (quelques pourcents). Elle représente en moyenne 20 % à 40 % de la roche pour l'ensemble de la formation, pouvant dépasser les 60 % dans certains horizons décimétriques dans la partie supérieure de la formation ;
- une phase de tectosilicates essentiellement composée de quartz détritique de fine granulométrie (<5 µm).

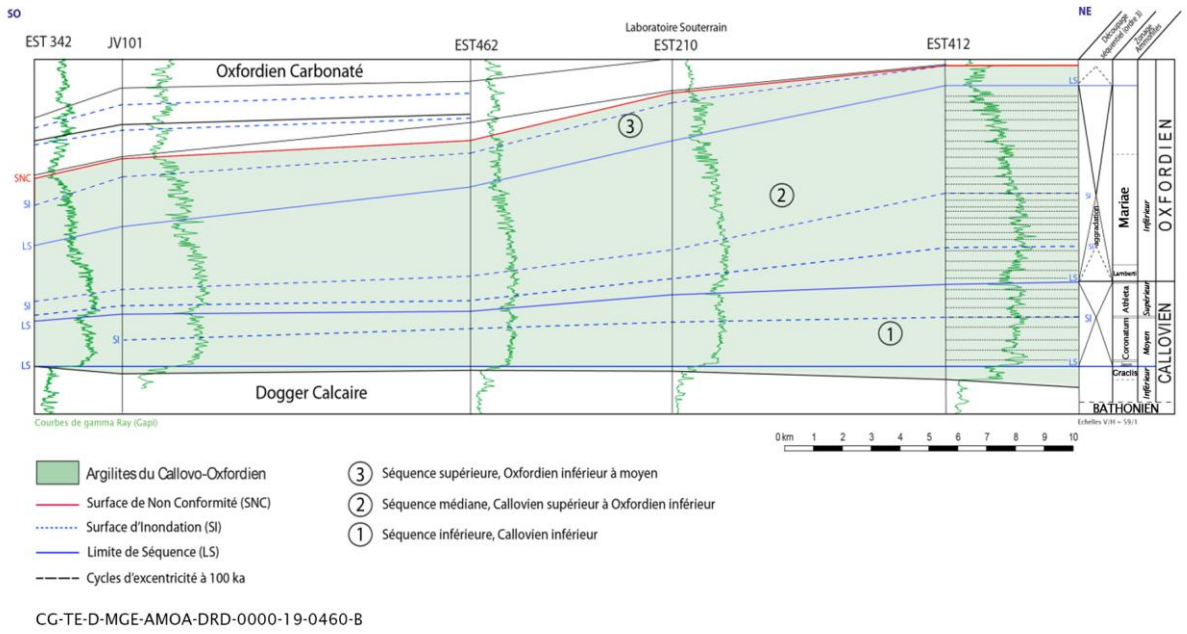


Figure 1-22 *Évolution nord-est- sud-ouest (transect d'environ 32 kilomètres) des trois séquences sédimentaires identifiées dans le Callovo-Oxfordien*

Les faibles variations de proportions de ces phases minéralogiques sont associées aux fluctuations du niveau marin relatif. Ces variations couplées à l'enfouissement du Callovo-Oxfordien par le passé sont les principales causes de variations pétrophysiques du Callovo-Oxfordien. Néanmoins, les phénomènes diagénétiques tardifs, discrets et d'extension régionale n'ont pas été en mesure de modifier localement et de manière significative les caractéristiques du Callovo-Oxfordien. La pyrite (FeS_2) est présente dans toute la formation avec des teneurs allant localement jusqu'à 3 %. La présence de pyrite témoigne des conditions réductrices dans le Callovo-Oxfordien.

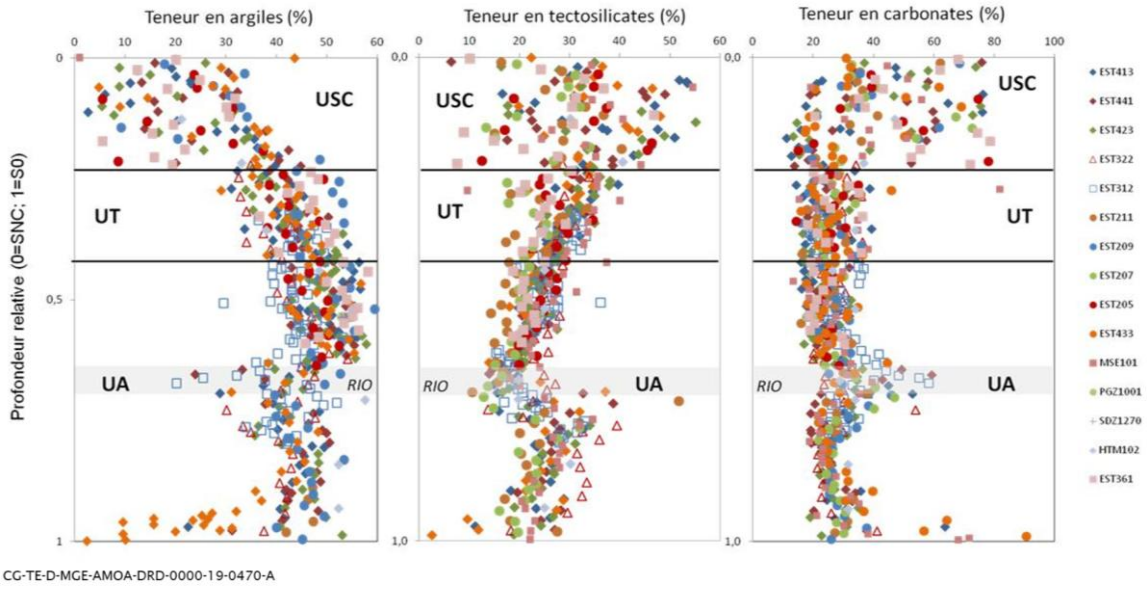


Figure 1-23 *Évolutions verticales des phases minéralogiques principales (argiles, tectosilicates et carbonates) dans la formation du Callovo-Oxfordien. Les données sont présentées selon leur hauteur relative dans la formation du Callovo-Oxfordien (0 = toit et 1 = base)*

Par ailleurs, la formation du Callovo-Oxfordien contient entre 0,5 % et 1 % de matière organique. La prédominance et la persistance des biomarqueurs dans les molécules hydrocarbonées, l'abondance de formes thermiquement instables manifestent l'immaturité de cette matière organique. Cela indique que la température du Callovo-Oxfordien est restée basse (de l'ordre de 45 °C) au cours de son histoire, ce qui est conforme à son enfouissement maximum au Crétacé.

Latéralement, la formation du Callovo-oxfordien présente la même organisation de faciès et minéralogique verticale sur une zone de plus de 350 km^2 englobant la ZIOS ; cette organisation se retrouve dans tous les forages situés dans un rayon de 15 km autour du Laboratoire souterrain, d'après les enregistrements diagraphiques et la composition minéralogique (cf. Figure 1-24). La continuité lithologique de la formation du Callovo-Oxfordien latéralement sur de grandes distances s'explique par l'origine des sédiments qui la composent et le contexte tectonique et sédimentaire calme de leur dépôt, il y a environ 160 millions d'années. Ce contexte permet de confirmer sur la zone de transposition l'absence de hiatus de sédimentation d'une ampleur susceptible de perturber la continuité verticale et latérale du Callovo-Oxfordien, ainsi que l'absence de lentilles sableuses (turbidites), étant donné l'éloignement des sources d'apport.

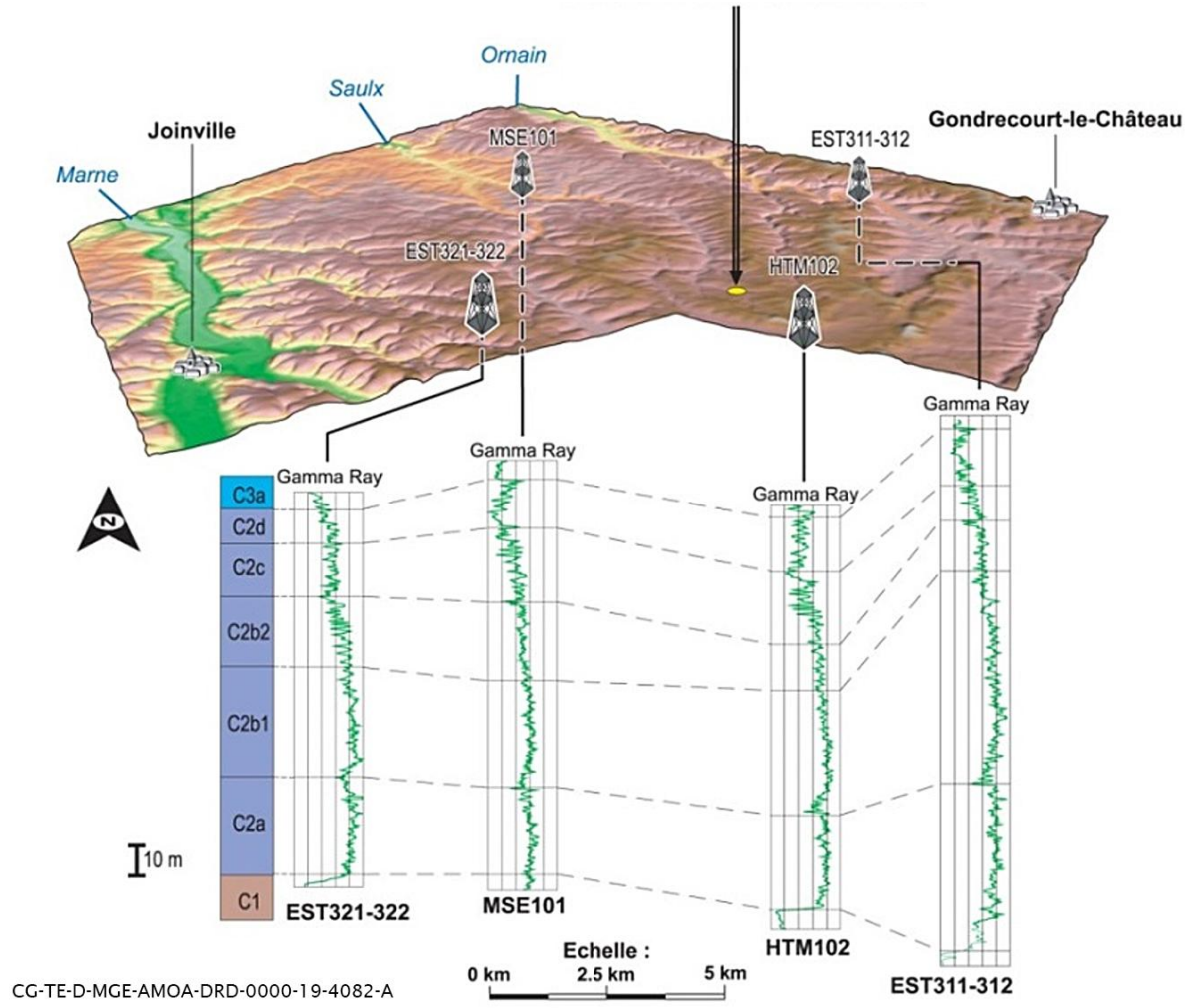


Figure 1-24 *Illustration de l'homogénéité latérale de l'organisation verticale du Callovo-Oxfordien sur le secteur étudié (enregistrement diagraphique Gamma Ray)*

L'évolution de la compréhension et de la représentation stratigraphiques de la formation du Callovo-Oxfordien traduit l'assimilation progressive dans le temps des connaissances acquises au cours des différentes campagnes de reconnaissances géologiques.

Dans ce sens, l'analyse de la variabilité des propriétés physiques mesurées par diagraphie et des données sédimentologiques et minéralogiques acquises sur échantillons ont amené l'Andra à proposer une représentation verticale du Callovo-Oxfordien en trois grandes unités géologiques reconnues sur l'ensemble des forages réalisés sur la zone de transposition, qui sont de bas en haut (cf. Figure 1-25) :

- une unité épaisse à dominante argileuse (UA) : d'une épaisseur variant entre 100 mètres et 120 mètres représentant les 2/3 inférieurs de la formation, l'unité argileuse UA représente l'intervalle le plus homogène (avec des variations minéralogiques et pétrophysiques de faibles amplitudes) et le plus argileux (plus de 40 % en moyenne). Elle intègre le repère inférieur oolithique (RIO) plus carbonaté et peut être scindée en trois sous-unités aux variations ténues et progressives (UA1, U2 et UA3). La sous-unité UA2 correspond au niveau stratigraphique où la teneur en argile est la plus élevée dans laquelle les ouvrages de stockages seront implantés ;
- une unité de transition (UT) : cette unité constitue le terme de passage entre les niveaux principalement argileux caractéristiques de l'UA et les niveaux plus silto-carbonatés (USC) observées dans la partie supérieure de la formation. Ses propriétés minéralogiques et pétrophysiques sont plus variables latéralement ;

- une unité silto-carbonatée (USC) : d'une épaisseur d'environ 30 mètres d'épaisseur, cette unité se caractérise par des niveaux dont la composition minéralogique est plus contrastée (des évolutions de la teneur en carbonates de 40 % à 90 % très localement) dues aux alternances lithologiques observées (marnes et siltites carbonatées). Elle intègre le repère supérieur oolithique (RIO) et peut être scindée en deux sous-unités (USC 1 et USC 2). L'enrichissement progressif en carbonates dans cette unité marque l'installation de la plateforme carbonatée de l'Oxfordien supérieur.

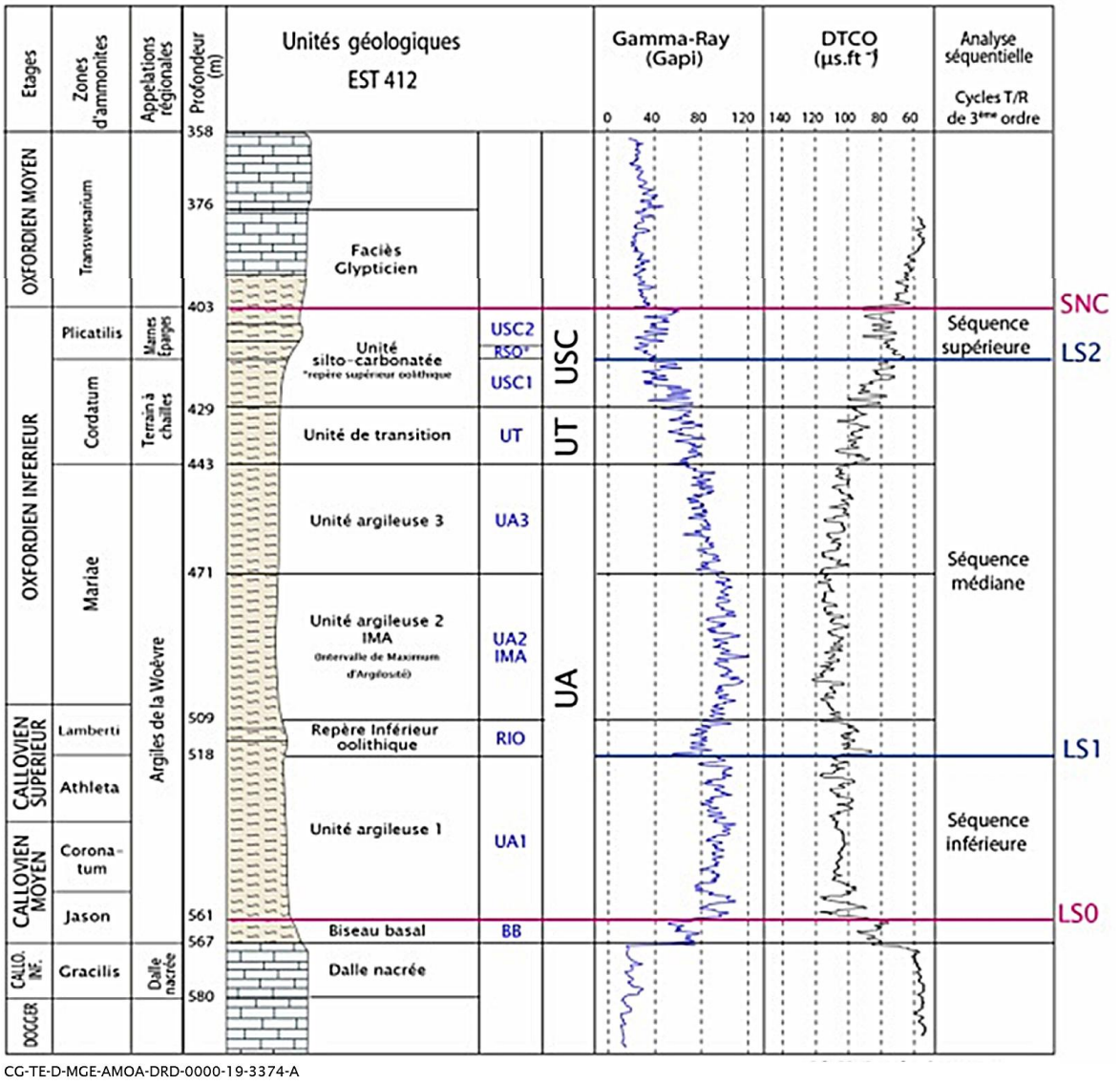


Figure 1-25 *Principales unités géologiques de la formation du Callovo-Oxfordien : unité argileuse (UA), unité de transition (UT) et unité silto-carbonatée (USC). Les limites géologiques du Callovo-Oxfordien sont données par les surfaces LS0 et SNC*

Ce modèle de représentation de la formation du Callovo-Oxfordien en trois grandes unités géologiques constitue, à ce jour, le cadre retenu par l'Andra pour intégrer l'ensemble des connaissances disponibles et représenter la variabilité spatiale des propriétés intrinsèques de la formation.

1.6.3 Une formation exempte d'hétérogénéités sédimentaires et structurales

L'examen détaillé de 350 km de profils sismiques réalisés sur la zone de transposition et aux abords immédiats a montré que les déformations tectoniques qui ont affecté la région depuis 155 millions d'années sont faibles et se limitent aux grandes structures présentes en bordure de la zone comme le fossé de Gondrecourt et fossé de la Marne. Entre ces structures, la formation du Callovo-Oxfordien est régulière et à faible pendage (cf. Chapitre 1.6.1 du présent volume).

Aucune faille majeure (de rejet vertical supérieur à 10 mètres et d'extension déca kilométrique) ou secondaire (de rejet supérieur à cinq mètres et d'extension plurikilométrique) n'a été observée sur la zone de transposition dans le Callovo-Oxfordien, ni dans les formations calcaires sus-jacentes.

Dans la zone d'implantation des ouvrages souterrains, les méthodes d'acquisition sismique 3D et leur résolution ont permis de confirmer l'absence de faille de rejet supérieur à deux-quatre mètres aussi bien dans le Callovo-Oxfordien que ses encaissants (Dogger, Oxfordien carbonaté et Kimméridgien).

La figure 1-26 montre ainsi l'absence de structures tectoniques affectant la série sédimentaire à l'aplomb de la ZIRA.

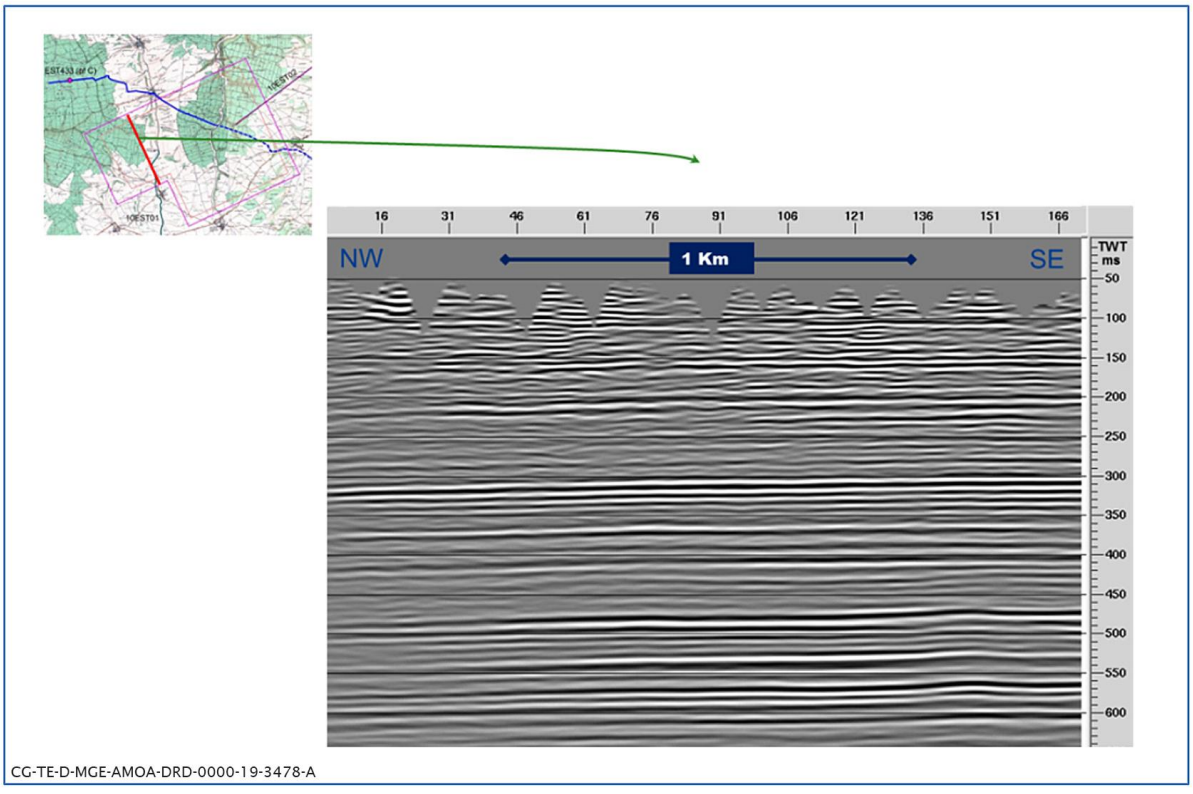


Figure 1-26 *Coupe NO-SE du bloc sismique 3D haute résolution réalisé en 2009 montrant l'absence de structures tectoniques affectant la série sédimentaire à l'aplomb de la ZIRA*

Sur le site du Laboratoire de recherche souterrain, les forages verticaux et déviés, traversant sur plusieurs centaines de mètres latéralement la formation du Callovo-Oxfordien, n'ont recoupé aucune faille (majeure à subsismique, c'est-à-dire d'un rejet inférieur à trois mètres). De même, la reconnaissance géologique réalisée systématiquement sur les quelques 2 km de galeries du Laboratoire de recherche souterrain, d'une résolution métrique en galerie et centimétrique en forage, soit sur une surface d'environ 10 hectares, a démontré à ces résolutions d'investigations, l'absence de structures de failles au sein du Callovo-Oxfordien.

Les seules structures observées dans les forages sont localisées au toit de la formation du Callovo-Oxfordien ; elles correspondent principalement à des diaclases ou joints, des fentes de tension et quelques rares joints stylolithiques qui sont associées à l'enfouissement et aux effets de compaction de la couche. Ces structures sont peu nombreuses, sans déplacement, et pour la plupart colmatées (notamment par de la calcite ou de la célestite). Elles n'affectent pas la géométrie et les propriétés du Callovo-Oxfordien.

1.6.4 Des caractéristiques porales et minéralogiques favorables

Les caractéristiques porales et minéralogiques du milieu géologique sont favorables à la limitation de la migration des espèces en solution, et à l'immobilisation et la rétention de l'essentiel des radionucléides et des substances toxiques chimiques, comme cela va être explicité ci-après.

Les phénomènes de migration sont caractérisés par un ensemble de processus que l'on peut dissocier selon trois grands phénomènes :

- le comportement en solution qui concerne l'état physico-chimique des radionucléides dans l'eau. L'eau constitue l'un des principaux vecteurs de la migration des solutés ;
- les phénomènes d'interaction avec les solides (processus de rétention) qui contribuant à l'immobilisation de certains ;
- le transport des solutés au sein d'un milieu et entre les différents milieux.

La migration des solutés au travers de la formation du Callovo-Oxfordien repose sur la combinatoire de ces phénomènes. Les caractéristiques porales et minéralogiques de la formation sont essentielles vis-à-vis de l'expression de ces phénomènes et vis-à-vis de la migration des solutés.

Les propriétés physico-chimiques du Callovo-Oxfordien sont la conséquence de la nature des minéraux constitutifs, en particulier les minéraux argileux et les minéraux carbonatés, et de leur agencement. Ce dernier délimite des vides (les pores) où se situe l'eau interstitielle qui contient des espèces chimiques susceptibles de se déplacer (cf. Figure 1-27). La porosité (volume de vides rapporté au volume total) varie entre 14 % dans les niveaux les plus carbonatés du Callovo-Oxfordien (USC) et 22 % dans les niveaux les plus argileux (UA).

Deux types de pores sont distingués (i) les pores interfoliaires présents au sein de minéraux argileux (de type smectite), cette porosité représente 15 % à 25 % de la porosité totale et (ii) les pores inter-particulaires distribués principalement entre les minéraux argileux, ces pores sont de dimension nanométrique avec des tailles dominantes autour de 10 nm et 20 nm. Du fait de cette petite taille, l'eau est structurée au sein des pores avec de l'eau dite « liée » en surface des pores (incluant et de l'eau « interfoliaire ») et de l'eau dite « libre » (non influencée par les surfaces) au centre de ceux-ci. L'eau liée correspond à une proportion d'environ 50 % de l'eau porale. Elle forme des films continus et ne peut pas être déplacée sous l'effet d'un gradient (différence) de pression.

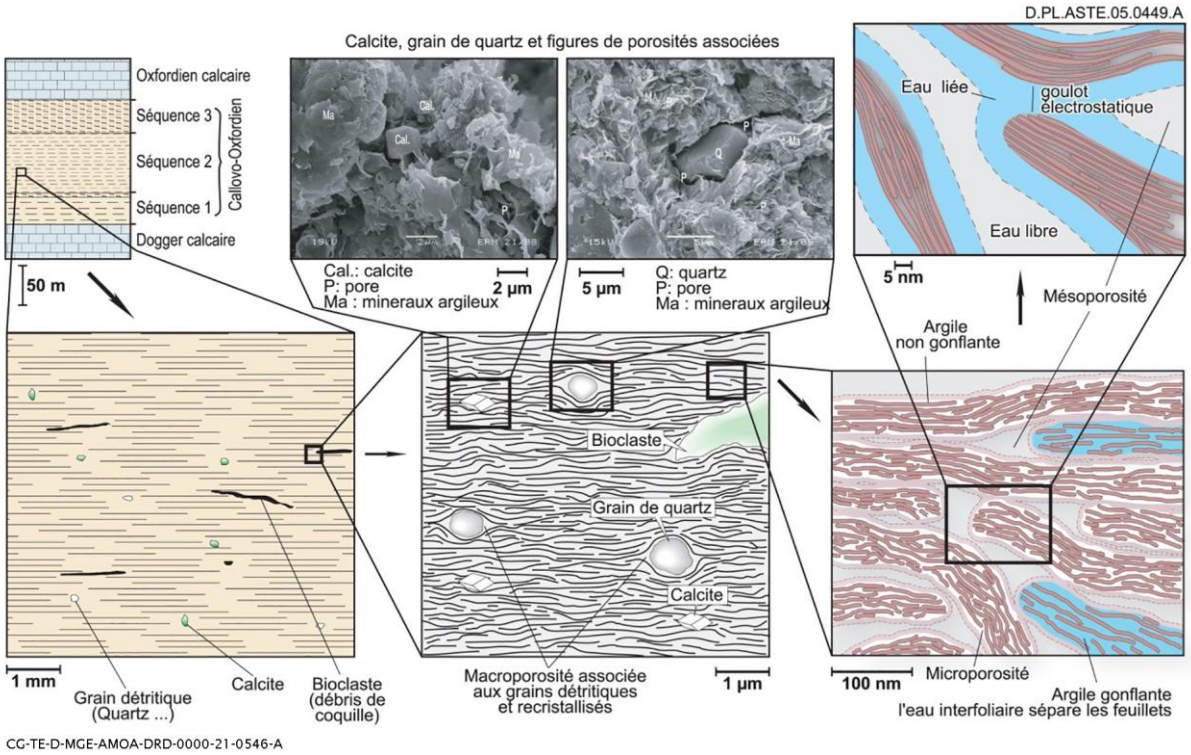


Figure 1-27 *Schématisation de la texture et de la porosité des argilites du Callovo-Oxfordien aux échelles infracentimétriques*

1.6.4.1 Une composition chimique des eaux bien connue et favorisant la faible solubilité de l'essentiel des radionucléides et des substances toxiques chimiques

Certaines caractéristiques du système chimique de l'eau porale sont particulièrement déterminantes vis-à-vis du comportement des substances radioactives et toxiques chimiques : le pH, le potentiel d'oxydo-réduction (Eh) et les concentrations des espèces chimiques (Cl^-, HCO_3^-, Na^+, K^+, Ca^{+2}…). La connaissance de la composition chimique de l'eau interstitielle est issue d'expérimentations *in situ* dans le Laboratoire de recherche souterrain (notamment grâce aux résultats de l'expérimentation PAC - Prélèvements pour analyse chimique) ainsi que d'analyses sur échantillons d'argilites et, suivant différents protocoles et des modélisations géochimiques.

L'eau interstitielle a un pH neutre, légèrement supérieur à sept. Elle est réductrice comme le montre la présence de pyrite stable et de matière organique. Chimiquement, cette eau a un caractère calco-sodique carbonaté, avec également une composante sulfatée et chlorurée. Les données sur les isotopes stables du carbone (δ13C) des bicarbonates dissous confortent l'hypothèse de l'équilibre chimique et isotopique de l'eau interstitielle avec les phases minérales carbonatées (calcite, dolomite, ankérite). L'ensemble des connaissances disponibles permettent de fournir en tout point de la formation du Callovo-Oxfordien sur la zone de transposition la composition de l'eau interstitielle avec un bon niveau de confiance. À ces échelles, les évolutions de la composition de l'eau sont associées à la concentration en chlore en lien avec le fonctionnement hydrogéologique des formations sus et sous-jacentes.

L'évaluation de la solubilité, de la spéciation aqueuse et du degré d'oxydation de chaque radionucléide et substance toxique chimique a été effectuée à l'aide i) de la modélisation thermodynamique s'appuyant sur la base de données thermochimie en vigueur), ii) d'une démarche d'analyse de sensibilité afin de couvrir une gamme des compositions plausibles et iii) d'une confrontation avec les données expérimentales (essais de solubilité, analogues naturels, teneurs en éléments traces dans les eaux du Callovo-Oxfordien…).

Globalement, dans les conditions de pH (neutralité) et d'Eh (milieu réducteur) imposées par le Callovo-Oxfordien, la plupart des radionucléides ont des solubilités faibles, notamment les actinides et les lanthanides. Seules quelques espèces chimiques (I^-, Cl^-, SeO_4^{2-}) qui ne sont pas directement contrôlées par l'équilibre vis-à-vis d'une phase minérale, sont totalement solubles.

1.6.4.2 Des composants minéraux qui favorisent la rétention des radionucléides et des toxiques chimiques

Les capacités de rétention de la formation du Callovo-Oxfordien proviennent essentiellement des minéraux argileux qui interagissent fortement par sorption avec la très grande majorité des radionucléides (et substances toxiques chimiques). La caractérisation, la compréhension et la représentation des propriétés de rétention par sorption des argilites du Callovo-Oxfordien s'appuient sur différents programmes expérimentaux pilotés par l'Andra et les résultats issus de projets internationaux et une démarche de modélisation intégrant les différents processus géochimiques (spéciation aqueuse, échange cationique, complexation de surface).

La détermination des coefficients de partage solide-solution (K_d) (paramètre représentant les phénomènes de sorption dans les évaluations) des radionucléides dans le Callovo-Oxfordien s'appuie majoritairement sur des mesures obtenues à partir d'expériences de sorption en système « batch » où une masse de roche est broyée et mise en suspension. Le comportement de nombreux radionucléides a été investigué au travers de cette méthode avec aujourd'hui une base de données conséquente et robuste (cf. Le référentiel « Le comportement des radionucléides et des toxiques chimiques » (7)).

Les niveaux de rétention mesurés dans le Callovo-Oxfordien dépendent essentiellement de la spéciation aqueuse des substances radioactives en particulier de leur état d'oxydation. Ils sont peu variables à l'échelle de la formation du Callovo-Oxfordien. Des valeurs de rétention très importantes (Kd supérieurs à 1 m^3/kg) ont été mesurées pour la plupart des actinides et lanthanides majeurs. La plupart des métaux de transition ainsi que l'uranium et le césium présentent des valeurs de rétention élevées (Kd de l'ordre de 0,1 m^3/kg ou plus). Seules certaines espèces anioniques ne présentent pas de rétention dans les argilites (en regard des incertitudes expérimentales), il s'agit du chlore (Cl^-), de l'iode (I^-) et du sélénium (HSe^- et SeO_4^{2-}).

Pour certains radionucléides, en l'absence de données expérimentales, la détermination de leur coefficient de partage (K_d) s'appuie sur (i) des analogies de matrices minérales (argiles à Opalines), (ii) des analogies de comportement entre les différents radionucléides (ex. Série de lanthanides), (iii) le résultat de modélisations géochimiques supportées par un ensemble de données expérimentales.

1.6.4.3 Des caractéristiques hydrauliques qui limitent les circulations d'eau

La formation du Callovo-Oxfordien présente des caractéristiques hydrauliques (perméabilité et gradient de charges hydrauliques) qui limitent les flux d'eau au sein même de la formation.

La perméabilité de la formation du Callovo-Oxfordien découle de la structuration de la porosité et de la répartition des minéraux qui le constituent, plus précisément de la surface relative des sections de pores où se trouve l'eau libre et de leur degré de connectivité. Elle a été mesurée sur de nombreux échantillons, orientés parallèlement ou perpendiculairement à la stratification et de taille pluricentimétrique et sur des essais *in situ* à une échelle pluridécimétrique à plurimétrique en forage et dans le Laboratoire de recherche souterrain. Les valeurs des mesures acquises *in situ* ou sur échantillons carottés donnent des valeurs moyennes locales autour de quelques 10^{-13} $m.s^{-1}$, et un faible rapport d'anisotropie entre la perméabilité horizontale (Kh) et la perméabilité verticale (Kv) faible (de l'ordre de trois). Ces faibles valeurs de perméabilité sont cohérentes avec la mesure d'une surpression dans la formation du Callovo-Oxfordien au niveau du Laboratoire souterrain ce qui témoigne d'une très faible perméabilité en grand du Callovo-Oxfordien.

1.6.4.4 Des propriétés diffusives qui limitent la migration des radionucléides et des substances toxiques chimiques

La diffusion est le mécanisme dominant du transport des solutés dans la formation du Callovo-Oxfordien La prédominance du transport diffusif des solutés dans la formation par rapport aux phénomènes convectifs a notamment été mise en évidence par l'ensemble des études portant sur les traceurs naturellement présents dans la formation (solutés, des gaz dissous, isotopes de l'eau…).

Les propriétés de diffusion du Callovo-Oxfordien ont été étudiées pour différents traceurs couvrant le comportement général de la plupart des radionucléides et toxiques chimiques. Le comportement diffusif d'un ensemble de traceurs anioniques (chlore, iode, sélénium), cationiques (césium, sodium, strontium, calcium, europium…) et neutres (eau tritiée HTO, uranium) a été étudié au travers de très nombreux essais de diffusion sur des échantillons de taille centimétrique (cf. Le référentiel « Le comportement des radionucléides et des toxiques chimiques » (7)).

La variabilité spatiale des coefficients de diffusion est relativement faible. Par ailleurs, des essais d'injection de traceurs réalisés *in situ* dans le Laboratoire de recherche souterrain (expérimentations DIR « Diffusion de traceurs inertes et réactifs ») sur une durée de plusieurs années et des essais maquettes (échantillons décimétriques) confirment les valeurs obtenues sur échantillons carottés. Les profils de concentrations en traceurs naturels (gaz dissous, chlorure) et isotopes de l'eau acquis à l'échelle de la formation confirment la gamme de valeurs de coefficients de diffusion mesurées sur échantillons carottés et au Laboratoire souterrain.

Les mesures des propriétés de diffusion mettent en évidence une différence de comportement attendue entre anions, cations et espèces neutres du fait de leurs interactions physico-chimiques avec les surfaces chargées des minéraux argileux :

- les anions sont repoussés des surfaces argileuses (chargées négativement) et des pores interfoliaires, ce qui les exclut d'une partie du réseau de pores : il s'agit du phénomène d'exclusion anionique, et il en résulte des coefficients de diffusion effectifs et des porosités accessibles à la diffusion plus faibles que ceux mesurés pour l'eau (HTO) et pour les cations ;
- les cations sont en revanche adsorbés sur les surfaces argileuses, d'où des coefficients de diffusion effectifs (De) sensiblement plus élevés que celui de HTO (jusqu'à 10 fois pour le césium attendu comme le plus sensible à ces effets) en fonction de l'affinité du cation avec les surfaces argileuses, mais qui reste faible.

Ainsi, le chlore, espèce anionique, présente un De de $5{,}10^{-12}$ $m^2.s^{-1}$ et le césium, espèce cationique, un De de $2{,}5.10^{-10}$ $m^2.s$-1. La porosité accessible à diffusion des anions représente environ 50 % de la porosité totale.

1.6.5 Des propriétés mécaniques dépendantes des unités géologiques

Les propriétés mécaniques dépendantes des unités géologiques se caractérisent par l'absence d'endommagement marqué et/ou par une cicatrisation hydraulique de l'endommagement, comme cela est développé ci-après.

1.6.5.1 Une résistance mécanique spécifique selon les unités géologiques

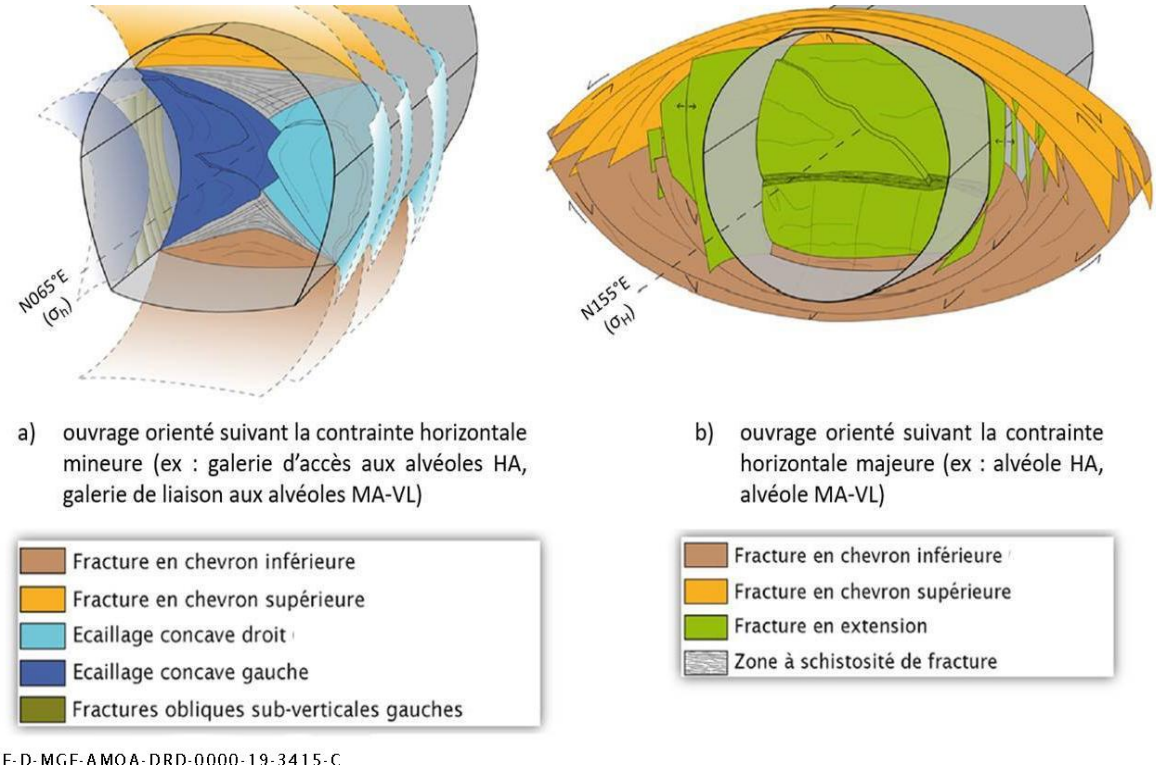
Les caractéristiques minéralogiques des unités géologiques de la formation du Callovo-Oxfordien lui confèrent des propriétés mécaniques propres. Du fait de la teneur importante de carbonates et de leur organisation en un « quasi-squelette » 3D, les argilites dans l'unité silto-carbonaté (USC) présentent une résistance mécanique (résistance en compression simple Rc >30 MPa) supérieure à celle des argilites de l'unité argileuse (UA) (Rc ~21 MPa) pour lesquelles les minéraux non argileux, en particulier les carbonates, s'organisent en inclusion au sein d'une matrice argileuse.

1.6.5.2 Un endommagement induit par le creusement des ouvrages spécifique selon les unités géologiques

Dans l'USC, où la résistance des argilites est la plus élevée dans la formation du Callovo-Oxfordien, peu d'endommagement est observé lors du creusement d'ouvrages souterrains, avec quelques fissures d'extension (pluri centimétrique) éparses et de la microfissuration. L'ensemble ne présente pas de connectivité axiale le long des ouvrages à l'échelle métrique.

Dans l'UA, où la résistance des argilites est plus faible, un endommagement localisé important est observé, en champ proche des ouvrages, avec l'apparition de fractures en cisaillement, même en avant du front de creusement, et des fractures en extension après le passage du front. Quel que soit le diamètre de l'ouvrage (dans le domaine testé au Laboratoire de recherche souterrain), il se forme ainsi un même réseau de fractures organisé en deux zones depuis la paroi (cf. Figure 1-28) :

- une zone fracturée connectée, dite ZFC. Dans cette zone, plusieurs familles de fractures coexistent : des fractures en cisaillement et des fractures en extension, mais aussi des fractures mixtes, principalement des fractures créées en cisaillement et qui s'ouvrent ensuite sous l'effet de la convergence de l'ouvrage. L'ensemble forme un réseau 3D dense de fractures. L'ouverture géométrique locale des fractures varie beaucoup, et peut atteindre plusieurs millimètres à la paroi ou très proche de la paroi ;
- une zone avec une fracturation « discrète », dite ZFD. Au-delà de la zone fracturée connectée, il subsiste uniquement les extrémités de fractures en cisaillement. Les fractures ne se sont pas physiquement connectées entre elles et présentent des ouvertures inframillimétriques.



CG-TF-D-MGF-AMOA-DRD-0000-19-3415-C

Figure 1-28 *Représentation schématique de la fracturation induite autour des ouvrages suivant leurs orientations par rapport à la contrainte horizontale majeure. (a) Galerie orientée suivant la contrainte horizontale mineure. (b) Galerie orientée suivant la contrainte majeure (Armand et al., 2014 (8)*

1.6.5.3 L'organisation spatiale de l'endommagement autour des ouvrages souterrains horizontaux creusés dans l'unité argileuse (UA) dépendant de l'orientation des ouvrages

L'analyse des facteurs influençant la fracturation induite par le creusement, menée à partir de l'ensemble des données acquises au niveau principal du Laboratoire de recherche souterrain, par exemple dans l'UA, montre que la nature de la fracturation induite (typologie de fracturation, organisation…) dépend peu de la direction de creusement. À l'inverse l'extension de la zone fracturée dépend fortement de l'orientation de l'ouvrage horizontal par rapport à la contrainte horizontale majeure. Pour des ouvrages orientés selon la contrainte horizontale mineure (N65°E), la zone endommagée se développe préférentiellement suivant la verticale, tandis que selon la direction de la contrainte horizontale majeure (N155°E), l'extension se développe préférentiellement suivant l'horizontale. L'organisation de cette fracturation induite par les ouvrages a été observée à différentes échelles (de l'échelle centimétrique d'un forage à celle métrique des galeries) montrant ainsi que l'extension des zones fracturées est quasiment proportionnelle au diamètre de l'ouvrage creusé.

Les différentes méthodes d'excavation testées au Laboratoire souterrain ont peu d'influence sur la nature et l'extension des zones fracturées connectées et discrètes. La méthode de soutènement et principalement le délai de pose du soutènement (méthode traditionnelle) ou de blocage de la convergence pour les méthodes mécanisées avec l'injection des vides annulaires n'affectent pas la nature et l'organisation de la zone endommagée, mais conduit localement à une augmentation de l'extension (entre 10 % et 20 %) des zones fracturées.

1.6.5.4 Des propriétés hydrauliques des zones endommagées spécifiques entre l'unité silto-carbonaté (USC) et l'unité argileuse (UA)

1.6.5.4.1 Dans l'USC

Dans l'USC, les perméabilités de la zone endommagée sont peu modifiées par rapport à celles des argilites saines. La caractérisation initiale réalisée en 2005 autour de la galerie localisée à 445 mètres au Laboratoire souterrain montre des faibles perméabilités (inférieure à 10^{-11} m.s^{-1}), ce qui est cohérent avec l'absence de zone fracturée connectée (continue). Ces observations sont confirmées par les mesures effectuées dans le puits principal du Laboratoire souterrain. La perméabilité décroît depuis la paroi de la galerie, entre 10^{-11} m.s^{-1} et 10^{-13} m.s^{-1}, dans les deux premiers mètres de la roche.

1.6.5.4.2 Dans l'UA

Dans l'UA, les perméabilités initiales (*i.e.* Peu de temps après le creusement) de la zone endommagée sont fortement modifiées par rapport à celle des argilites non endommagées, plus particulièrement en champ très proche de la paroi des ouvrages. Par ailleurs, un phénomène de cicatrisation hydraulique y est observé.

Dans la zone fracturée connectée (ZFC), les « perméabilités équivalentes locales » initiales (*e.g.* Peu de temps après le creusement) déterminées à partir des tests hydrauliques à l'eau réalisés au Laboratoire souterrain, varient généralement entre 10^{-5} m.s^{-1} et 10^{-10} m.s^{-1} avec parfois des valeurs plus basses, correspondant aux fractures. Des perméabilités inférieures à 10^{-12} m.s^{-1} mesurées sur des échantillons prélevés dans les blocs entre les fractures, soulignent des volumes d'argilites peu endommagés entre ces dernières. La transmissivité de la zone fracturée connectée est attribuée aux fractures ouvertes.

Dans la zone fracturée connectée, et au-delà dans la zone fracturée discrète, la perméabilité initiale décroît avec la distance à la paroi : l'extension de la zone de perméabilité initiale supérieure ou égale à 10^{-12} m.s^{-1}, est estimée égale au rayon de l'ouvrage, au-delà de la zone fracturée connectée.

Les mesures hydrauliques faites autour des ouvrages dans le Laboratoire souterrain montrent une diminution progressive des perméabilités dans le temps. Celles-ci peuvent ainsi diminuer de plusieurs ordres de grandeurs et tendent vers celles des argilites saines, même dans la zone fracturée connectée.

Ce phénomène, dit de cicatrisation hydraulique, est aussi observé sur échantillons en laboratoire, y compris pour des fractures d'ouverture millimétrique (cf. Figure 1-29) Les analyses faites à très petite échelle au niveau des fractures montrent le rôle joué dans la cicatrisation hydraulique par les minéraux smectites contenus dans les argilites, du fait de leur gonflement en présence d'eau qui assure ainsi un effet de colmatage des fractures. À cela peut s'ajouter les contraintes mécaniques qui aident à la fermeture mécanique des fractures, et favorisent ainsi leur colmatage.

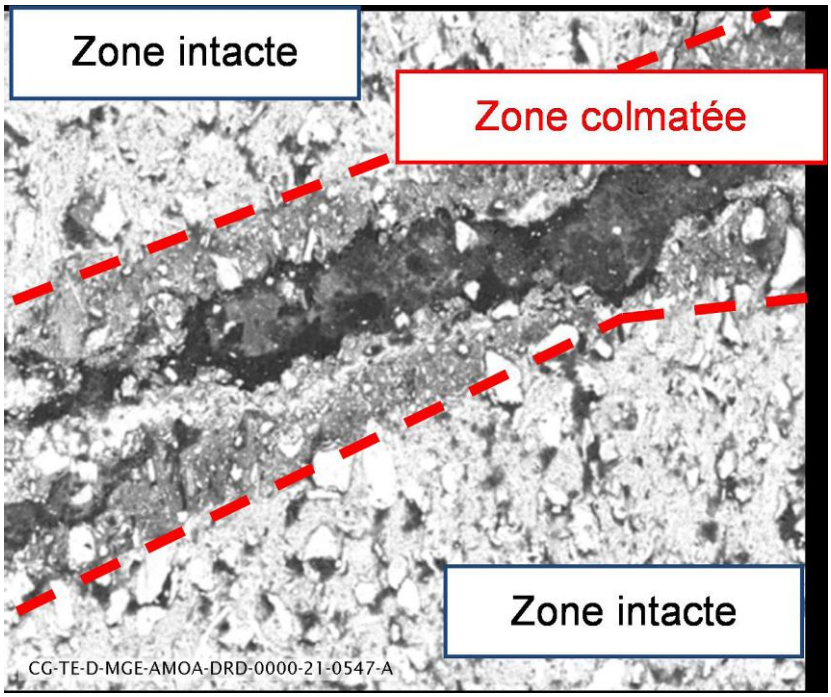


Figure 1-29 *Illustration du colmatage des fractures dans l'UA, à partir d'une photographie MEB (échelle millimétrique)*

Enfin, les données acquises, notamment en forage *in situ* au niveau du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute Marne, soulignent des fracturations hydrauliques et au gaz élevées des argilites de l'UA, respectivement d'environ 12 MPa et entre 10 MPa et 12 MPa. Ces valeurs sont cohérentes avec les valeurs des contraintes naturelles *in situ*.

Synthèse des caractéristiques de la formation du Callovo-Oxfordien

Les campagnes de reconnaissances par forages et par méthodes géophysiques ainsi que les travaux menés depuis 20 ans au Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne ont permis d'acquérir un niveau de connaissance détaillé et maîtrisé de la formation du Callovo-Oxfordien.

Sur le site d'implantation de l'INB :

- la géométrie stratiforme de la formation est confirmée et cohérente avec l'histoire géologique régionale ;
- l'existence d'un contexte de sédimentation calme et d'une activité tectonique réduite est également garantie ;
- l'épaisseur globale de la formation varie entre environ 142 mètres et 162 mètres du sud-ouest vers le nord-est avec un pendage de l'ordre du degré et permet l'implantation des ouvrages souterrains en répondant aux critères de sûreté après fermeture ;
- et, enfin, aucune discontinuité structurale d'un rejet supérieur à deux-quatre mètres n'a été identifiée.

L'organisation de la formation est simple et se présente sous la forme d'un empilement de grands ensembles lithologiques peu contrastés, identifiables, de géométries planes, montrant peu de variations d'épaisseur, et continus à l'échelle du secteur de Meuse/Haute-Marne. Verticalement, la couche s'organise en séquences sédimentaires, dont les limites sont soulignées par de minces dépôts carbonatés, corrélables sur de grandes distances. La partie centrale de la formation du Callovo-Oxfordien correspond à la zone la plus argileuse (jusqu'à 60 % de minéraux argileux). Le sommet de la couche est caractérisé par un enrichissement en carbonates.

Les propriétés pétrophysiques de formation du Callovo-Oxfordien sont établies dès l'existence de la formation (soit dès son dépôt ou juste postérieurement). Celle-ci conditionne les caractéristiques peu variables sur l'ensemble de la formation et adaptées à la construction du stockage.

La sorption des radionucléides et des toxiques chimiques sur les minéraux argileux constitue l'un des principaux phénomènes régissant leur migration au sein de la formation et contribue à limiter fortement leur transport vers les aquifères sous et sus-jacents en les immobilisant en champs proche des alvéoles de stockages (notamment des actinides).

Malgré leur sorption nulle (Kd = 0), le chlore (Cl^-), l'iode (I^-) et le sélénium (HSe^- et SeO_4^{2-}) bénéficient du phénomène d'exclusion anionique qui réduit leur mobilité dans la formation du Callovo-Oxfordien.

1.7 Les formations sous-jacentes au Callovo-Oxfordien

1.7.1 Le Dogger

La formation du Dogger est l'encaissant situé sous la formation du Callovo-Oxfordien à une profondeur évoluant la zone d'implantation des installations souterraines (hors descenderies) entre 510 mètres et 680 mètres. La formation comprend deux ensembles carbonatés (Bajocien inférieur à moyen et Bajocien terminal à Callovien inférieur) séparés par un intervalle plus marneux (marnes de Longwy). Cette configuration se retrouve sur tout l'est du Bassin parisien. Une diagenèse à l'origine d'une importante recristallisation des carbonates et de la cimentation de la porosité initiale affecte l'ensemble de la série à l'exception de quelques intervalles pour lesquels la diagenèse précoce a permis de préserver la porosité initiale.

L'épaisseur du Dogger augmente d'est en ouest de 210 mètres à 280 mètres sur la zone de transposition, et de 206 mètres à 230 mètres sur la ZIOS (hors descenderies). Dans le détail, de haut en bas :

- l'ensemble calcaire du Bajocien terminal à Callovien inférieur (appelé par commodité Bathonien) débute par la dalle nacrée correspondant à un faciès condensé constitué de calcaires oolithiques et bioclastiques, parfois marneux, située directement à la base des argilites à une profondeur évoluant entre 500 mètres et 675 mètres. Il se poursuit par des faciès carbonatés très variables tant verticalement que latéralement (débris coquilliers, sables calcaires, récifs, faciès dolomitiques…). Cet ensemble est d'épaisseur relativement constante à l'échelle de la zone de transposition (environ 155 mètres à 167 mètres) ;
- les marnes de Longwy, montrent des faciès assez constants (alternance de marnes silteuses et de calcaires bioclastiques plus ou moins argileux et gréseux) caractérisant un environnement de rampe externe. Leur épaisseur décroît de l'ouest (plus de 50 mètres au niveau de Joinville) vers l'est (elle passe à 35 mètres puis 13 mètres au niveau de Commercy) ;
- le Bajocien inférieur à moyen est constitué de faciès de plate-forme corallienne de grande extension géographique avec une variabilité très importante interdisant toute prédiction lithologique détaillée. L'épaisseur de cet intervalle est de 60 mètres environ. L'interprétation des données sismiques 3D à l'aplomb de la ZIRA et du Laboratoire souterrain a mis en évidence des linéaments de direction N120, identifiées comme des ensembles récifaux.

Les rares venues d'eau du Dogger observées en forages sont localisées dans les niveaux supérieurs du Bathonien. Elles sont associées, en dehors des zones fracturées, à des horizons poreux situés dans des calcaires granulaires d'environnement de faible profondeur et forte agitation. Les transmissivités élevées (10^{-5} $m^2.s^{-1}$) mesurées au droit d'un seul forage au centre de la zone de transposition sont caractéristiques de faciès granulaires peu cimentés avec une macroporosité bien connectée. Ces niveaux présents sur une vingtaine de mètres, dont la porosité est relativement faible (10 % à 15 %), ont une distribution spatiale liée à des modifications diagénétiques précoces associées à des émersions jouant un rôle dans la préservation de la porosité. La distribution et l'extension de ces niveaux sont de fait quasiment impossibles à définir. Leur faible épaisseur est difficilement détectable en sismique.

Synthèse sur les caractéristiques de la formation du Dogger

La formation du Dogger est l'encaissant inférieur de la formation du Callovo-Oxfordien à une profondeur évoluant entre 510 mètres et 680 mètres sur la ZIRA. La formation comprend deux ensembles carbonatés séparés par un intervalle plus marneux. La diagenèse à l'origine d'une importante recristallisation des carbonates et de la cimentation de la porosité initiale affecte l'ensemble de la série à l'exception de deux niveaux poreux dans la partie supérieure du Bathonien pour lesquels la diagenèse précoce (sous faible enfouissement) a permis de préserver la porosité initiale.

1.7.2 Les formations profondes

Le Lias à l'aplomb de la Zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) est caractérisé par sa nature essentiellement argileuse ou marneuse à l'exception de rares intervalles plus carbonatés. La formation des schistes cartons, roche mère de l'essentielle des hydrocarbures liquides exploités dans le Bassin parisien est présente mais n'a pas rencontré les conditions de température et de durée d'enfouissement suffisantes à la production de ces hydrocarbures (fenêtre à huile).

Le Trias du Bassin parisien est classiquement décrit par trois unités lithostratigraphiques (de haut en bas) : Le Keuper, le Muschelkalk et le Buntsandstein :

- le Keuper est dominé par des épisodes évaporitiques pendant lesquels se déposent des dolomies, des marnes à nodules d'évaporites ou bancs épais d'évaporites ; au centre de la zone de transposition, un forage a mis en évidence environ 200 mètres de sel (halite) recoupés à environ 1 415 mètres sous la surface : ces évaporites sont ou ont été exploitées dans les départements des

Vosges, de Meurthe et Moselle et de Moselle où ces couches sont présentes en surface ou à quelques centaines de mètres de profondeur ;

- le Muschelkalk est dominé par des faciès carbonatés (dolomies) dans sa partie supérieure et des argiles gréseuses à la base sur une épaisseur cumulée de l'ordre de 170 mètres ;
- le Buntsandstein, à la base du Trias, est constitué de séquences de grès et conglomérat ; les formations gréseuses (Grès à Voltzia, Grès vosgiens) portent des aquifères ; l'étude de la répartition de traceurs chimiques naturels et des niveaux de charge de ces aquifères indique que ces aquifères ne sont pas en relation avec ceux des encaissants directs de la couche hôte du Callovo-Oxfordien.

L'analyse quantitative du potentiel géothermique du Trias sur la ZIRA montre qu'il ne présente pas de caractère exceptionnel et qu'il est similaire à ceux qui existent à l'échelle régionale et plus largement à l'échelle du Bassin parisien.

La présence de Permien à l'aplomb de la zone de transposition est reconnue à partir du retraitement et de l'interprétation des profils sismiques réalisés dans le cadre de l'exploration pétrolière. Le forage pétrolier de Germisay (environ 13 km au sud de la zone puits) a recoupé plus de 1 300 mètres de Permien sans avoir touché la base. Des roches détritiques gréseuses et conglomératiques avec quelques passées argileuses sont décrites. L'épaisseur totale du Permien est estimée à 1 500 mètres sur ce forage mais pourrait dépasser 2 500 mètres au centre de la zone de transposition. Le contexte paléo-environnemental et paléoclimatique était défavorable à la préservation de matière organique et au dépôt de couches de charbon ou de roche-mère d'hydrocarbures.

Le retraitement et l'interprétation de profils sismiques pétroliers ont également montré que le Stéphanien est présent sur la bordure nord de la zone de transposition et à proximité de la bordure au sud-est ce qui laisse supposer qu'il est également présent sous la zone d'implantation de l'INB.

Les profils sismiques à proximité de la zone de transposition, faute d'une profondeur suffisante, n'ont pas apporté les éléments permettant de statuer sur la présence ou l'absence du Westphalien sous-jacent.

La recherche et l'exploitation de charbon et d'hydrocarbures plus à l'est en Lorraine ont montré que le Stéphanien a un très faible potentiel en charbon alors que le Westphalien sous-jacent est la formation la plus riche en charbon dans le bassin charbonnier lorrain. Cependant, même si la présence du Stéphanien à l'aplomb de la ZIRA est montrée et celle du Westphalien possible, ces formations sont en revanche à des profondeurs entre -5 200 m NGF et -5 600 m NGF pour le Westphalien et entre -4 000 m NGF et -4 400 m NGF pour le Stéphanien, des profondeurs trop importantes pour envisager leur exploitation avec les techniques actuelles.

Ainsi, en regard des potentiels et des profondeurs associées, aucune ressource en charbon potentiellement exploitable n'a été identifiée à l'aplomb de la zone de transposition et en l'occurrence de la zone d'implantation de l'INB.

Le Stéphanien et le Westphalien constituent également la roche-mère d'hydrocarbures mais l'analyse des profils sismiques n'a pas montré l'existence de pièges structuraux susceptibles de retenir une migration potentielle d'hydrocarbures. De plus, les analyses sur la fabrication et la maturation d'hydrocarbures à partir de ces roches-mères potentielles indiquent une genèse et une expulsion éventuelle très précoce. Il est donc très probable que d'éventuels hydrocarbures générés dans des couches du Stéphanien auraient pu migrer précocement sans pouvoir s'accumuler et être piégés dans et par des formations du Permien et du Trias.

Synthèse des caractéristiques des formations géologiques « profondes »

La série sédimentaire du mésozoïques sous-jacentes au Dogger (Lias et Trias) à l'aplomb de la ZIOS est connue par plusieurs forages à proximité ou à distance. La succession des formations est similaire à ce qui est rencontré au sud-est du Bassin parisien. Le Lias est dominé par des faciès argileux ou marneux et le Trias est représenté par les trois termes classiques, Le Keuper par des faciès évaporitiques, le Muschelkalk par des faciès carbonatés et des argiles gréseuses et le Buntsandstein par des grès et conglomérats. L'analyse quantitative du potentiel géothermique du Trias sur la ZIRA montre qu'il ne présente pas de caractère exceptionnel et qu'il est similaire à ceux qui existent à l'échelle régionale et plus largement à l'échelle du Bassin parisien.

La série mésozoïque repose en discordance sur des dépôts épais du Permien caractérisés par des faciès détritiques à rares intercalations argileuses sans ressources remarquables.

Sous le Permien, le Carbonifère est représenté par le Stéphanien dans un contexte paléo-environnemental défavorable aux dépôts de charbon de grande extension et, sans certitude, par le Westphalien mais à des profondeurs trop importantes pour envisager une exploitation. L'absence de pièges structuraux et la formation potentielle d'hydrocarbures précocement sans couverture imperméable n'ont pas permis le piégeage d'hydrocarbures.

2

Le cadre hydrogéologique et hydrologique

2.1 Le cadre hydrogéologique 60
2.2 Les interfaces entre les eaux souterraines et les eaux superficielles 70
2.3 Le cadre hydrologique 73

2.1 Le cadre hydrogéologique

Le système hydrogéologique (*e.g.* D'écoulement des eaux) est composé d'un multicouches constitué (cf. Figure 2-1) :

- d'aquifères dans les formations des Calcaires du Barrois, de l'Oxfordien, du Dogger et du Trias inférieur et supérieur ;
- de formations ou niveaux semi-perméables : le Kimméridgien marneux, le Callovo-Oxfordien, les formations argileuses du Lias et les niveaux argileux et évaporitiques du Trias moyen ;
- sur la zone de transposition, les écoulements dans les encaissants sus et sous-jacents immédiats du Callovo-Oxfordien (Oxfordien calcaire et Dogger) sont indépendants du fait même des caractéristiques hydrauliques et de l'épaisseur du Callovo-Oxfordien ;
- en dehors de la zone de transposition, ce système aquifère (cf. Figure 2-1) comporte des failles hydrauliquement actives comme celles de la Marne et de Poisson, orientées parallèlement aux contraintes tectoniques majeures, des failles moins drainantes jouant le rôle plutôt de barrières hydrauliques comme les failles de Gondrecourt-le-Château nord et les failles de Joinville dont l'orientation nord-est/sud-ouest est perpendiculaire à la direction des contraintes tectoniques majeures ainsi qu'une zone de fracturation diffuse, dite zone de fracturation diffuse de Marne-Poisson, relativement active sur un plan hydraulique au sud-ouest de la zone de transposition.

2.1.1 Le système aquifère superficiel des Calcaires du Barrois

2.1.1.1 La description des aquifères

Les Calcaires du Barrois constituent un système aquifère karstique constitué de trois unités aquifères (Calcaires sublithographiques, Calcaires de Dommartin et Calcaires cariés) séparées par des formations semi-perméables (Pierre Châline et Oolithe de Bure).

Les écoulements sont organisés dans chacune des trois formations aquifères selon l'organisation générale de la géologie (pendage, fractures, flexures, plissements…) locale et régionale, de la fracturation de direction nord nord-ouest et du réseau de conduits karstiques qui s'est développé par dissolution des calcaires le long du réseau de fractures existant. Des conduits karstiques verticaux peuvent constituer des connexions avec le réseau hydrographique de surface et permettraient ainsi de mettre localement en relation ces aquifères.

Comme indiqué dans le chapitre 1 du présent volume, sur la description de la série sédimentaire, les Calcaires du Barrois sont les premières formations géologiques rencontrées au niveau de la future zone d'implantation de l'INB. Compte tenu de l'érosion de surface et du pendage général des terrains toute l'épaisseur de la formation n'est pas présente au droit des installations de surface de l'INB Cigéo. Seuls les Calcaires sublithographiques sont présent au niveau de la zone descenderie ; les Calcaires de Dommartin affleurent dans la partie sud de la zone puits, la partie nord de la zone puits qui accueillera les verses surplombe les calcaires cariés.

Les formations peu perméables qui séparent les différents aquifères (Pierre Châline et Oolithe de Bure) peuvent, lorsqu'elles se trouvent à l'affleurement ou proche de la surface être altérées et fracturées, permettant une communication hydraulique entre les différents aquifères.

Les installations de surface de l'installation nucléaire seront implantées au niveau de l'affleurement des Calcaires sublithographiques pour la zone descenderie et au niveau des Calcaires de Dommartin pour la zone puits. Ces zones d'affleurement constituent les zones de recharge des deux aquifères en amont hydraulique du système.

Les principaux exutoires naturels des Calcaires du Barrois sont les sources situées dans la Vallée de la Saulx, de l'Ornain et de la Marne.

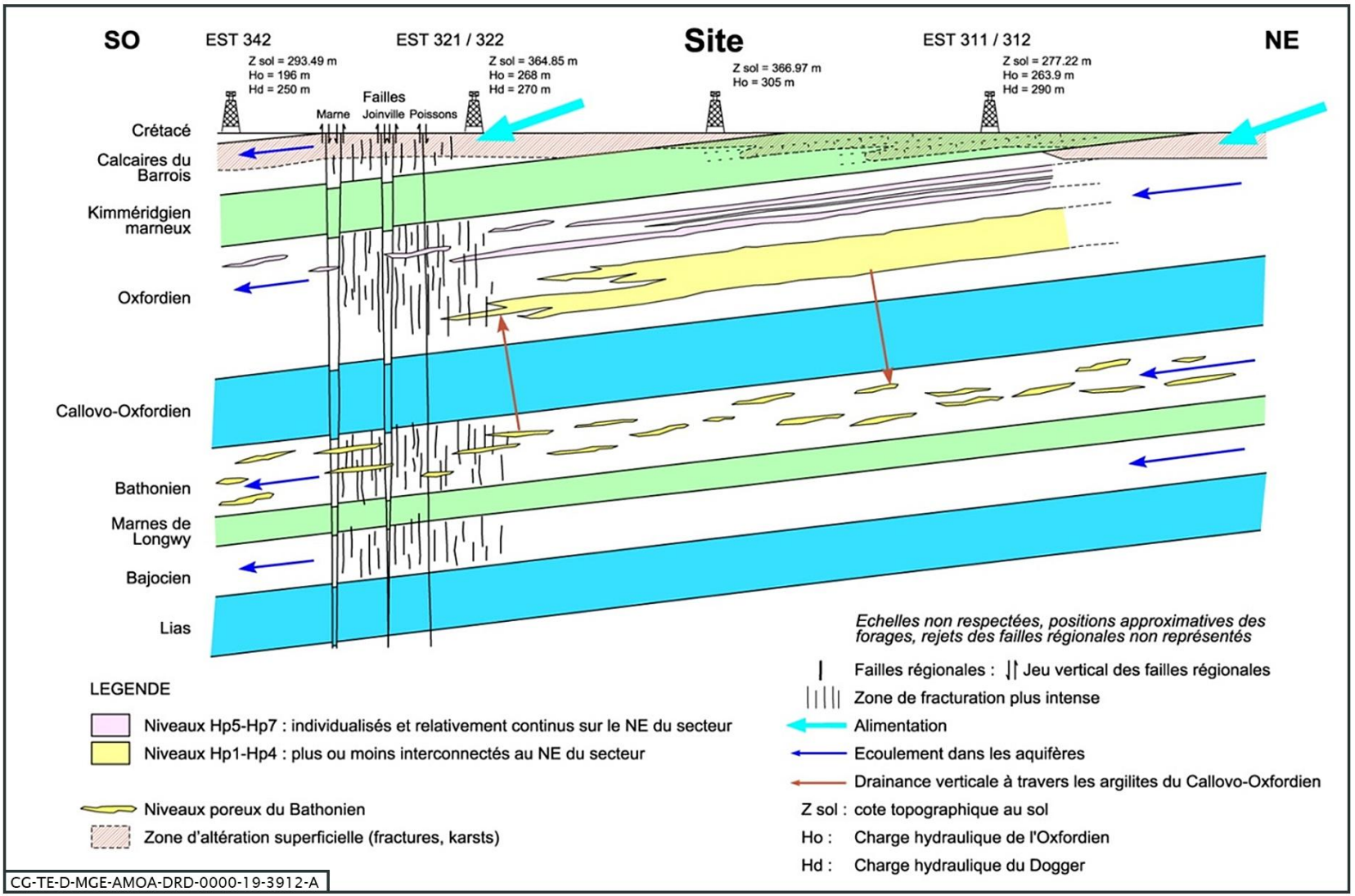


Figure 2-1 Modèle conceptuel des écoulements dans les formations géologiques du secteur Meuse/Haute-Marne

2.1.1.2 La description des nappes circulant dans les aquifères

Les écoulements d'eau souterraine dans les formations aquifères du Barrois, présentes dans le secteur d'implantation des liaisons entre les installations de surface et les ouvrages souterrains de stockage, se font préférentiellement dans les niveaux perméables au contact des niveaux semi-perméables selon l'organisation générale de la géologie (pendage, fractures, flexures, plissement réseau karstique, et l'orientation principale de la fracturation. La figure 2-2 ci-après présente le schéma de fonctionnement hydrogéologique des Calcaires du Barrois.

Les principaux exutoires se situent, dans la vallée de l'Orge et de la Saulx, des traçages montrent toutefois la présence d'écoulements vers la vallée de la Marne à l'ouest et vers des sources plus en aval dans la vallée de la Saulx (sources de Rupt-aux-Nonains, Haironville, Bazincourt-sur-Saulx) ou plus au nord, vers Bar-le-Duc et Fains-les-Sources.

L'alimentation des nappes se fait, lorsque l'aquifère est à l'affleurement, par l'infiltration des eaux pluviales et par les pertes des cours d'eau. L'eau s'infiltre avec une composante majoritairement verticale à la faveur de la zone altérée/fracturée en surface jusqu'à rencontrer soit le substratum imperméable de l'aquifère sur lequel elle s'écoulera, soit la nappe (zone saturée en eau) dont le niveau varie au cours du temps.

Les phénomènes de karstification/altération de surface (favorisés par un contexte de fracturation préexistante) dans les niveaux aquifères facilitent l'infiltration des eaux jusqu'aux niveaux semi-imperméables et peuvent accroître leur transmissivité.

À l'échelle d'un rayon de 30 km autour de la zone d'implantation de l'INB, il en résulte des écoulements globalement orientés vers le nord-nord-ouest (sens général du pendage des couches géologiques) avec l'existence de différents exutoires selon les zones d'infiltration des eaux. Les vitesses d'écoulements des eaux souterraines sont rapides du fait de l'existence de phénomènes de karstification. Ces phénomènes sont moins développés au niveau de la zone descenderie et puits du fait de leur localisation en tête de bassin versant et s'intensifient vers le nord à mesure que les volumes d'eau infiltrés augmentent.

À une échelle locale, telles que celles des zones descenderie et puits, les phénomènes d'altération et/ou de karstification modifient les propriétés hydrodynamiques des semi-perméables (Pierre Châline ou Oolithe de Bure) et leur fonctionnement hydrogéologique en connectant certains niveaux perméables (Calcaires sublithographiques, Calcaires de Dommartin, calcaires cariés et tachetés) :

- en période de basses eaux, l'alimentation des aquifères se fait par infiltration des eaux météoriques, et plus localement au niveau des pertes des cours d'eau. Au niveau de la zone puits et descenderie, compte tenu de leur positionnement en tête de bassin versant, c'est principalement l'infiltration des eaux pluviales qui contribue à alimenter l'aquifère au droit de la zone d'implantation de l'INB. Les eaux infiltrées s'écoulent ensuite sous couverture jusqu'aux exutoires du système situé au niveau de l'affleurement des différentes formations aquifères dans les vallées de la Saulx, de l'Ornain et de la Marne ;
- en période de hautes eaux, lorsque les aquifères deviennent captifs sous les niveaux moins perméables sus-jacent, des zones de débordement des aquifères peuvent apparaître dans les vallées sous forme de résurgences dans les rivières au niveau du contact des niveaux aquifères et aquicludes (formations peu perméables) à l'affleurement. Ainsi une partie des eaux d'un aquifère peut rejoindre le réseau de surface pour ensuite s'infiltrer dans un autre niveau aquifère, l'autre partie gagnera les exutoires du système.

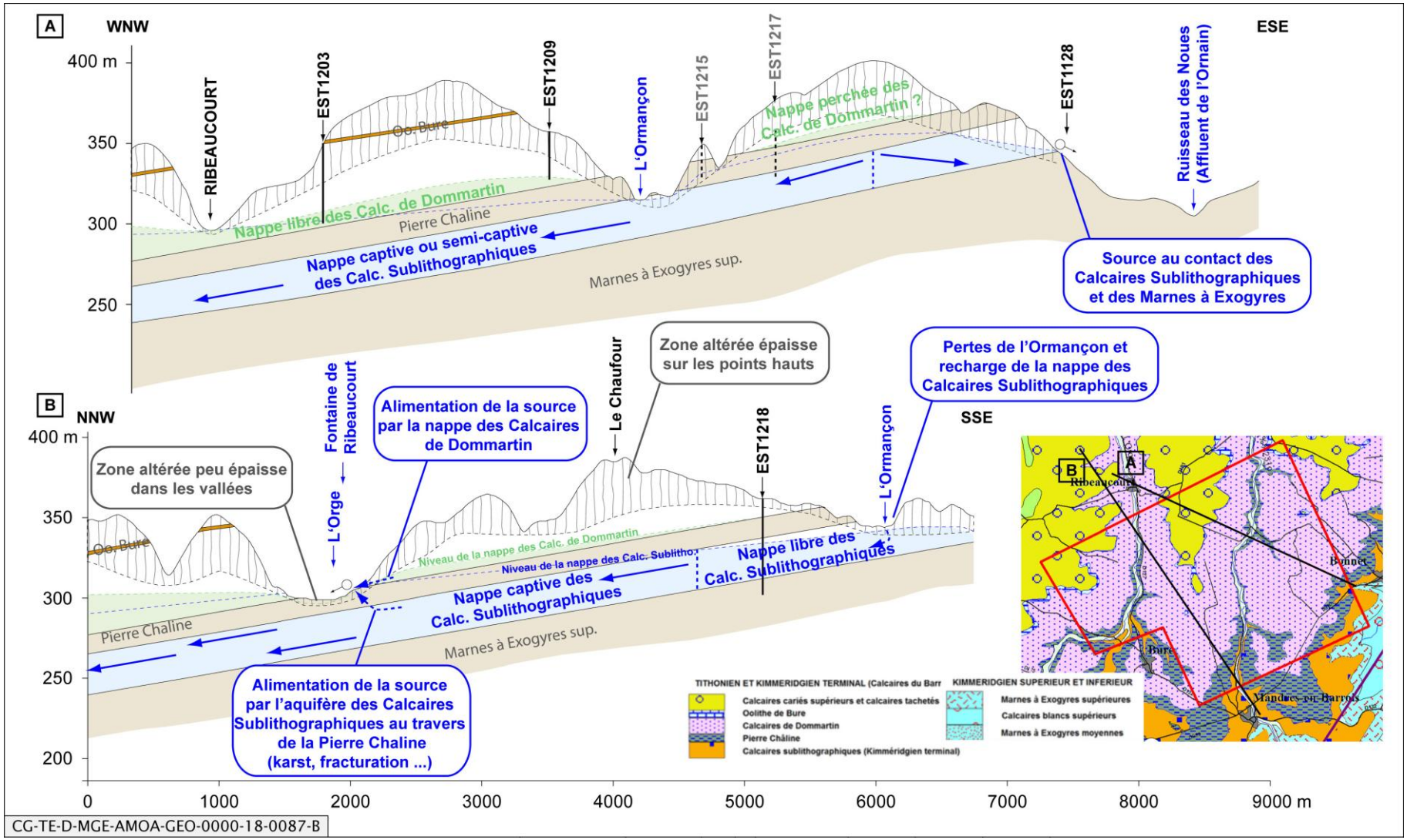


Figure 2-2 Schéma du fonctionnement hydrogéologique des Calcaires du Barrois

2.1.2 L'Oxfordien calcaire

2.1.2.1 La description des aquifères

L'encaissant Oxfordien, sus-jacent aux formations du Callovo-Oxfordien, est constitué d'une alternance d'horizons calcaires et d'horizons argilo-marneux. À l'échelle du secteur Meuse/Haute-Marne, sept horizons calcaires sont identifiés comme horizons poreux (HP) et intercalés avec les horizons argilo-marneux de la série grise. Pour illustrer cet encaissant, la figure 2-3 présente la coupe nord-est/sud-ouest schématique structurale des formations géologiques sur la zone concernée par l'implantation de l'INB.

Ce système multicouche accueille deux aquifères, séparés par les marnes de la série grise :

- l'aquifère supérieur est composé des horizons poreux du Séquanien et s'étend sur la partie nord-est du secteur Meuse/Haute-Marne (cf. Chapitre 1.1 du présent volume pour sa définition) jusqu'à la bordure est de la zone d'implantation des ouvrages souterrains (ZIOS) ;
- l'aquifère inférieur est constitué des horizons poreux du Rauracien sur la partie nord-est du secteur Meuse/Haute-Marne et de l'ensemble des horizons poreux au-delà de la bordure est de la ZIOS et sur le reste du secteur Meuse/Haute-Marne du fait de l'absence des marnes de la série grise.

La zone de recharge de ces deux aquifères est localisée au sud-est du fossé de Gondrecourt-le-Château là où les formations de l'Oxfordien carbonaté affleurent.

2.1.2.2 La description des écoulements

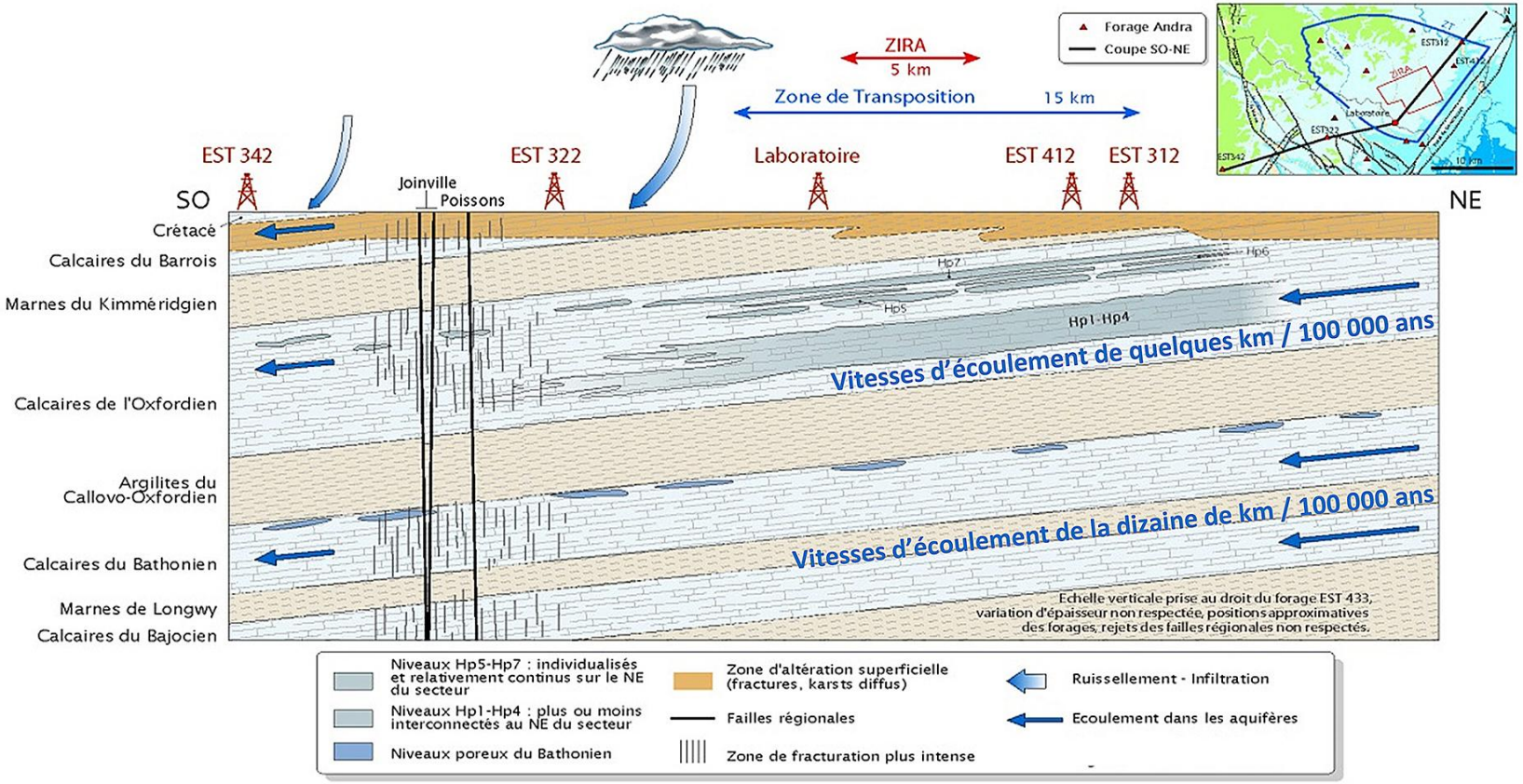
Dans la partie nord-est du secteur Meuse/Haute-Marne, les nappes de l'Oxfordien carbonaté sont séparées par les marnes de la série grise jusqu'au milieu de la zone de transposition. Dans cette partie nord-est (cf. Figure 2-4) :

- les charges hydrauliques de la nappe supérieure de l'Oxfordien carbonaté varient de 305 mètres à 280 mètres et les écoulements sont orientés vers l'ouest avec un gradient hydraulique moyen de 0,4 % ;
- les charges hydrauliques de la nappe inférieure de l'Oxfordien carbonaté varient de 295 mètres à 270 mètres. Les écoulements sont orientés vers le nord nord-ouest avec un gradient hydraulique moyen de 0,4 %.

Sur le reste du secteur Meuse/Haute-Marne, l'absence des marnes de la série grise est propice à la mise en commun des deux nappes (cf. Figure 2-3). La drainance verticale depuis les formations imperméables du Callovo-Oxfordien contribue faiblement à la recharge de la nappe inférieure de l'Oxfordien carbonaté.

Les terrains du secteur Meuse/Haute-Marne sont marqués par des accidents tectoniques et de l'altération de surface qui modifient localement les écoulements souterrains. Trois schémas d'écoulements sont ainsi identifiés dans l'aquifère Oxfordien carbonaté :

- au droit de la zone de transposition et de la zone d'implantation de l'INB :
  - ✓ l'Oxfordien carbonaté est non fracturé et sous couverture des marnes à Exogyres du Kimméridgien ;
  - ✓ la nappe supérieure de l'Oxfordien y est en partie séparée de la nappe inférieure par les marnes de la série grise ;
  - ✓ les perméabilités des horizons poreux sont en moyenne de 10^{-8} m.s^{-1}. L'eau s'écoule depuis les zones de recharge au sud-est en direction du nord-ouest.



CG-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-21-0134-A

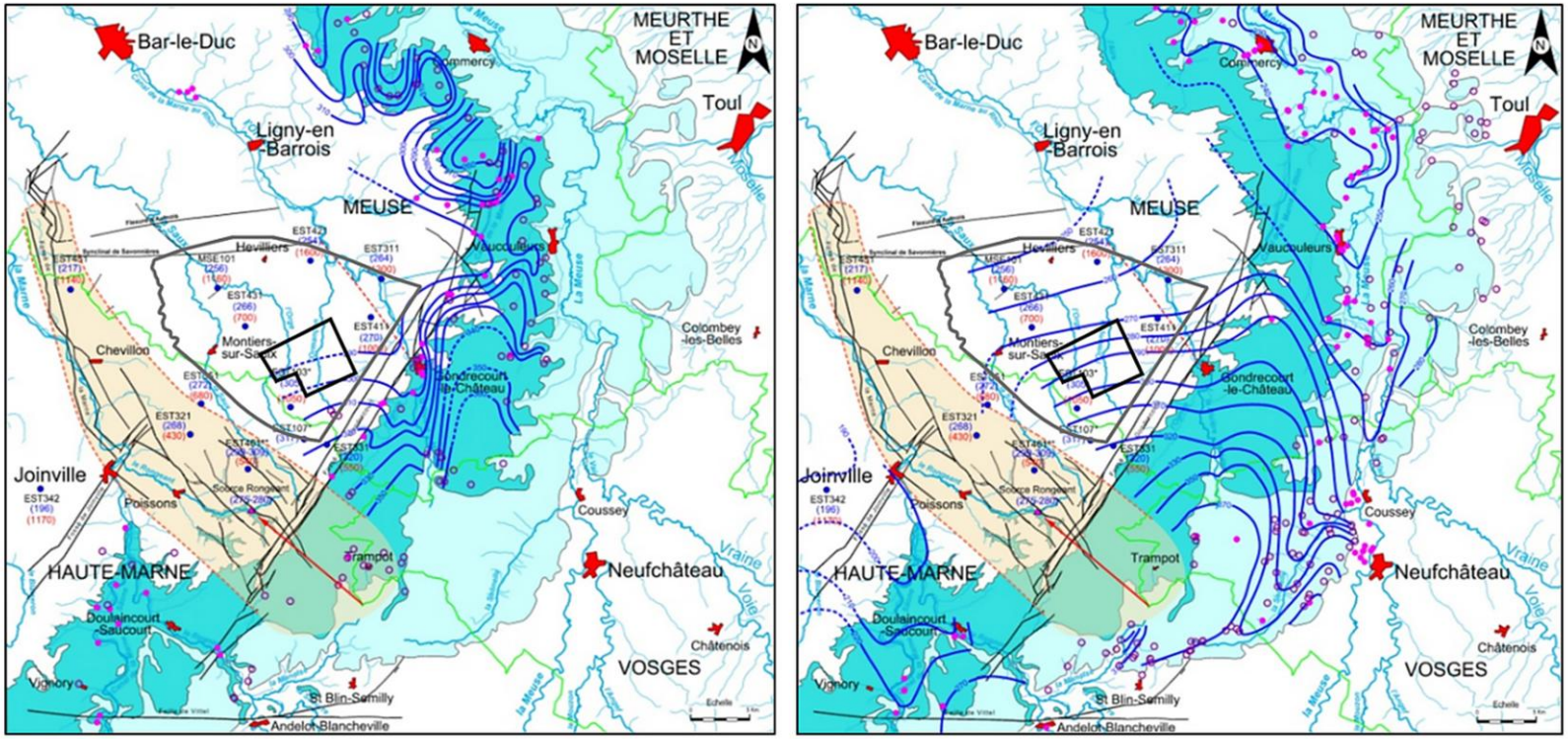
Figure 2-3 *Coupe nord-est/sud-ouest schématique structurale des formations géologiques juste au-dessus et en dessous des argilites du Callovo-Oxfordien*

- au sud-est de la zone de transposition et du fossé de Gondrecourt-le-Château :
  - ✓ l'Oxfordien carbonaté affleure et présente une altération de surface suffisante pour y permettre l'exploitation de la ressource en eau ;
  - ✓ les failles de Gondrecourt-le-Château, considérées comme peu perméables (par rapport à l'encaissant Oxfordien) en raison de leurs orientations nord-est/sud-ouest, sont de nature à protéger ces captages des perturbations hydrauliques générées lors de l'exploitation de l'INB.
- au sud-ouest et en dehors de la zone de transposition :
  - ✓ l'Oxfordien carbonaté est fracturé et sous couverture des marnes à Exogyres du Kimméridgien ;
  - ✓ cette zone de fracturation diffuse est le siège :
    - d'une karstification profonde depuis la partie affleurante de l'Oxfordien ;
    - d'une liaison hydraulique entre les deux nappes de l'Oxfordien carbonaté ;
    - et de perméabilités variant de 10^{-5} m.s^{-1} à 10^{-9} m.s^{-1} avec des valeurs pouvant atteindre localement 10^{-3} m.s^{-1}.

Du fait de son contact direct avec les formations du Callovo-Oxfordien abritant la partie souterraine de l'INB, l'encaissant Oxfordien est un milieu d'intérêt pour les études de sûreté.

Un modèle hydrogéologique à l'actuel représentant le Bassin parisien, et plus précisément le secteur Meuse/Haute Marne, intègre ainsi l'ensemble des données et connaissances acquises sur les corps sédimentaires de l'Oxfordien sur les 25 dernières années.

Ce modèle hydrogéologique (cf. La note conceptuelle « Le modèle hydrogéologique à l'actuel et son évolution sur le prochain million d'années » (8)) tient également compte du rôle hydraulique des failles (perméabilités plus ou moins élevées que la roche encaissante) et permet de reproduire en régime permanent les charges hydrauliques ainsi que les directions d'écoulements mesurées dans les nappes de l'Oxfordien carbonaté au droit du secteur Meuse/Haute Marne. Il sert également de point de départ aux modélisations des transferts des radionucléides et toxiques chimiques sur le prochain million d'années présentées dans le volume 7 du présent rapport.



CG-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-22-0017-A

Figure 2-4 Cartes piézométriques de la nappe supérieure (gauche) et inférieure (droite) de l'Oxfordien carbonaté

2.1.3 Le Dogger

2.1.3.1 La description des aquifères

Les aquifères du Dogger sont représentés par les formations calcaires du Bathonien et du Bajocien, séparés par les marnes de Longwy épaisses d'une trentaine de mètres (cf. Figure 2-3) :

- l'aquifère du Bathonien présente une nappe captive sous la formation du Callovo-Oxfordien. Il est caractérisé par une hétérogénéité de faciès qui se traduit par une forte variabilité locale des caractéristiques aquifères. La majeure partie des venues d'eau identifiées dans le Dogger est localisée dans le niveau supérieur du Bathonien ;
- l'aquifère du Bajocien plus profond est encore moins productif que le Bathonien.

La zone de recharge de ces aquifères se situe, comme pour l'Oxfordien, au sud-est et à l'est de la zone de transposition dans la partie affleurante du Dogger. L'aquifère du Bathonien y est libre et alimenté par les précipitations s'infiltrant au droit de la roche altérée.

2.1.3.2 La description des écoulements

Au droit de la zone de transposition, l'aquifère du Dogger est principalement représenté par les formations du Bathonien et caractérisé par une hétérogénéité de faciès qui se traduit par une forte variabilité locale de la perméabilité (10^{-5} m.s^{-1} à 10^{-10} m.s^{-1}). Les écoulements de la nappe du Bathonien sont globalement orientés vers le nord-ouest (cf. Figure 2-5), avec un gradient hydraulique moyen de 0,1 %, et une vitesse d'écoulement (au sens de Darcy) de l'ordre de 5 km en 100 000 ans sur la base d'une porosité cinématique égale à la porosité totale et d'une dizaine de km en 100 000 ans sur la base d'une porosité cinématique égale à 40 % de la valeur de porosité totale.

Au sud-ouest de la zone de transposition, dans la zone de fracturation diffuse (cf. Figure 2-5), les écoulements dans le Dogger sont globalement orientés vers le sud-ouest. Les écoulements y sont plus importants comme en témoigne la salinité des eaux localement dix fois plus faible que celle mesurée au droit de la zone de transposition. Cette déviation des écoulements dans le Dogger au niveau de la zone de fracturation diffuse conduit à l'apparition d'un exutoire naturel dans la vallée de la Marne à 30 km au sud-ouest de la zone de transposition (à proximité de la commune de Bologne).

Au nord-est de la zone de transposition, les écoulements dans le Dogger sont orientés vers le nord-est avec des gradients hydrauliques plus élevés pouvant refléter des perméabilités plus faibles dans le Dogger.

Le Dogger est également un encaissant direct des formations du Callovo-Oxfordien et représente ainsi un intérêt majeur pour la sûreté du stockage et la simulation des transferts des radionucléides et toxiques chimiques dans l'environnement. La représentation de l'aquifère du Dogger dans le modèle hydrogéologique est basée sur des arguments géologiques et hydrogéologiques dont les failles majeures, la zone de fracturation diffuse et l'extension des zones d'affleurements. Ces données sont complétées des résultats d'investigations de terrain et des données issues d'un nombre réduit de forages de reconnaissance. Le modèle hydrogéologique à l'actuel permet de reproduire les charges hydrauliques ainsi que les directions d'écoulement du Dogger dans le secteur Meuse/Haute-Marne.

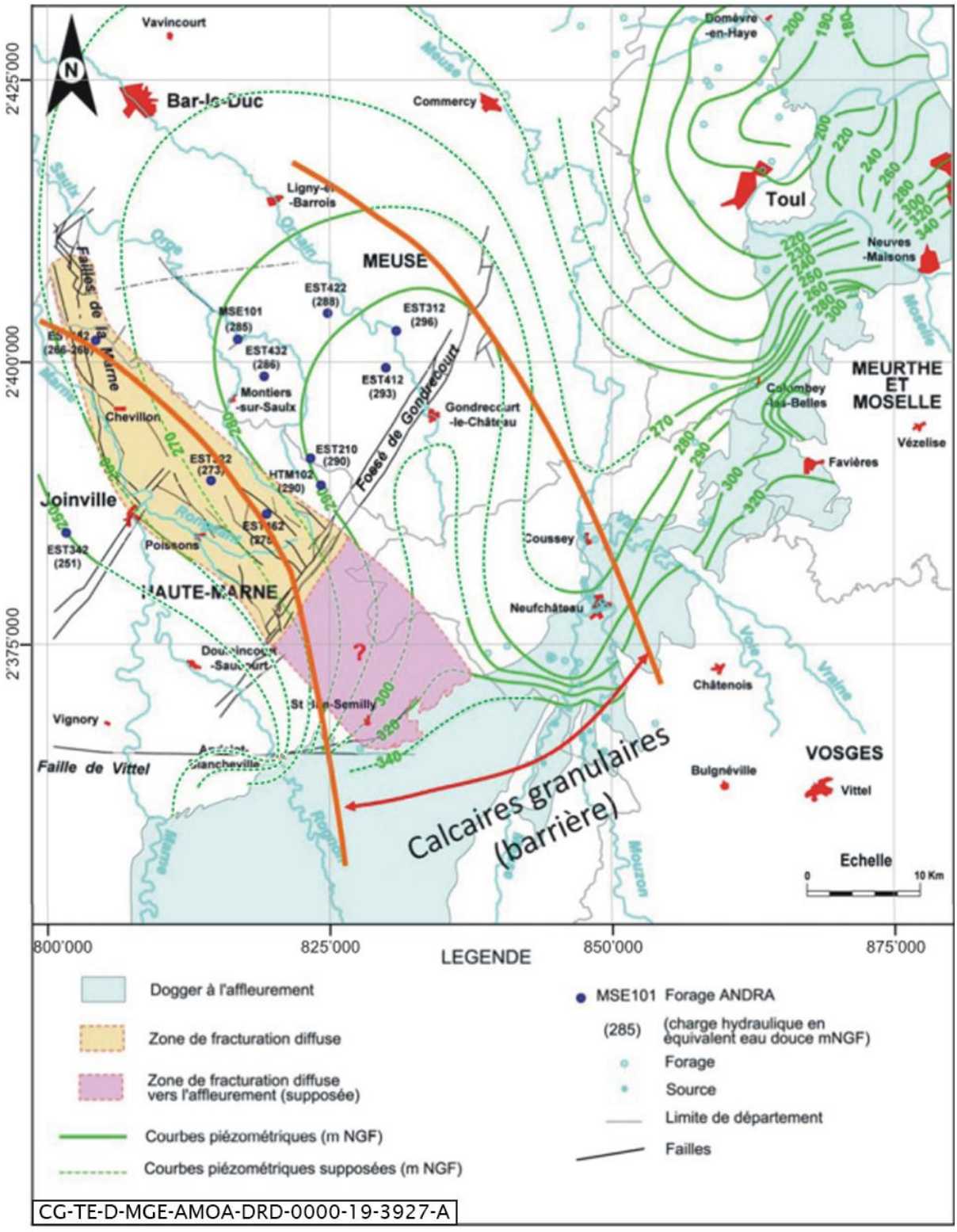


Figure 2-5 Carte piézométrique observée du Bathonien (Dogger)

Synthèse des écoulements dans le système multi-aquifères au droit de l'INB

Le cadre géologique du secteur de Meuse/Haute-Marne est caractérisé par une alternance de formations aquifères et de formations semi-perméables voir très peu perméables. On retrouve ainsi depuis la surface :

- les Calcaires du Barrois, une alternance de formations calcaires fissurés et karstifiés et de formations semi perméables. Cet ensemble comprend trois formations aquifères (les Calcaires cariés et tachetés, les Calcaires de Dommartin et les Calcaires sublithographiques) séparées par deux formations semi-perméables (la Pierre Châline et l'Oolithe de Bure). Les écoulements dans ces formations aquifères sont globalement orientés vers le nord nord-ouest mais présentent une forte hétérogénéité spatiale et temporelle liée au caractère karstique de ces calcaires ;
- les marnes du Kimméridgien constituent le substratum des Calcaires du Barrois et sont considérées comme très peu perméables ;
- l'Oxfordien calcaire est constitué de cinq horizons poreux caractérisés par des valeurs de porosité supérieures à 13 % et de trois horizons marneux peu perméables qui séparent, dans la partie nord-est du secteur, la nappe inférieure (HP 1-4) de la nappe supérieure (HP 5, 6 et 7). Les écoulements sont orientés en direction du nord nord-ouest avec un gradient hydraulique moyen au droit de l'INB de l'ordre de 0,4 % ;
- les argilites très peu perméables du Callovo-Oxfordien qui séparent hydrauliquement les Calcaires de l'Oxfordien de la formation sous-jacente ;
- les calcaires du Dogger, constitués de deux formations aquifères (les calcaires du Bathonien et les calcaires du Bajocien) séparées par la formation peu perméable des marnes de Longwy. Les écoulements se font principalement dans le Bathonien qui est caractérisé par une forte variabilité spatiale des faciès et des valeurs de conductivité hydraulique. Les écoulements sont orientés vers le nord nord-ouest avec un gradient hydraulique moyen au droit de l'INB de l'ordre de 0,1 % ;
- les formations argileuses et marneuses du Lias qui constituent le substratum de l'aquifère du Dogger.

2.2 Les interfaces entre les eaux souterraines et les eaux superficielles

Étant donné le caractère karstique de la formation calcaire du Barrois, le rôle de drainage/alimentation des cours d'eau se traduit soit par des phénomènes de pertes importantes et des tronçons en assec permanent ou quasi permanent, soit par des zones d'émergences plus ou moins pérennes.

Des campagnes de jaugeages différentiels réalisées (1996-1998, 2000, 2008-2009 et 2017-2019) ont permis de mettre en évidence les relations complexes des cours d'eau de la Bureau, de l'Orge et de l'Ormançon vis-à-vis des systèmes aquifères qu'ils traversent.

La géologie à l'affleurement gouverne en partie les régimes hydrologiques des cours d'eau en fonction de la nature des formations géologiques :

- les formations perméables (aquifères) forment des aires d'échanges avec les eaux souterraines (infiltrations ou résurgences suivant les régimes de hautes ou basses eaux) ;
- les formations peu perméables constituent quant à elles des zones de ruissellement préférentiel sur lesquelles des tronçons « pérennes » sont susceptibles d'être rencontrés.

En plus de constituer les conditions aux limites du système aquifère, les cours d'eau permettent également de connecter les niveaux aquifères par le biais des écoulements de surface sur les formations semi-perméables/imperméables.

Du fait de la structure monoclinale orientée vers le nord-ouest et du synclinal de Savonnière/Tréveray, il est possible, au sein d'une même formation, de rencontrer des phénomènes de résurgences et des pertes de part et d'autre de l'axe du synclinal.

Les débits de ces cours d'eau sont donc fortement liés au niveau des nappes présentes dans les aquifères à l'affleurement. L'interface entre les eaux de surface et les eaux souterraines est donc importante.

Les relations rivières/aquifères des cours d'eau de la Bureau, de l'Orge et de l'Ormançon sont résumées sur la figure 2-6 et explicitées dans le chapitre 2.3 du présent volume.

Enfin, les points de prélèvements en eau (ressources en eau pour la consommation humaine) à proximité de l'INB Cigéo sont décrits dans la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (1).

Synthèse des intéractions entre les eaux de surface et les eaux souterraines

Les échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines sont complexes à l'échelle du secteur du fait du caractère fissuré/karstique des Calcaires du Barrois en subsurface. La zone d'implantation des installations de surface se situe en tête du bassin versant, l'eau pluviale s'infiltre dans les roches calcaires puis est rapidement reprise par le réseau hydrographique de surface à l'issue de zones de résurgence. De même, l'eau des cours d'eau peut localement s'infiltrer *via* le substratum calcaire fissuré et/ou karstifié. Ce phénomène d'infiltration/résurgence est variable dans le temps (saisonnalité de la pluie) et dans l'espace (roches plus ou moins fissurées/karstifiées) et se produit sur l'ensemble des bassins versants de la Saulx, de l'Orge et de l'Ornain à tel point que des cours d'eau peuvent localement disparaître.

L'étude de ces interactions se fait par le biais de traçages au cours desquels des traceurs (colorants ou chimiques) sont infiltrés dans le milieu souterrain. La restitution de ces traceurs est ensuite suivie au niveau de potentiels points de sortie (sources, cours d'eau) ce qui permet de tracer des liaisons entre le point d'infiltration et le point de sortie.

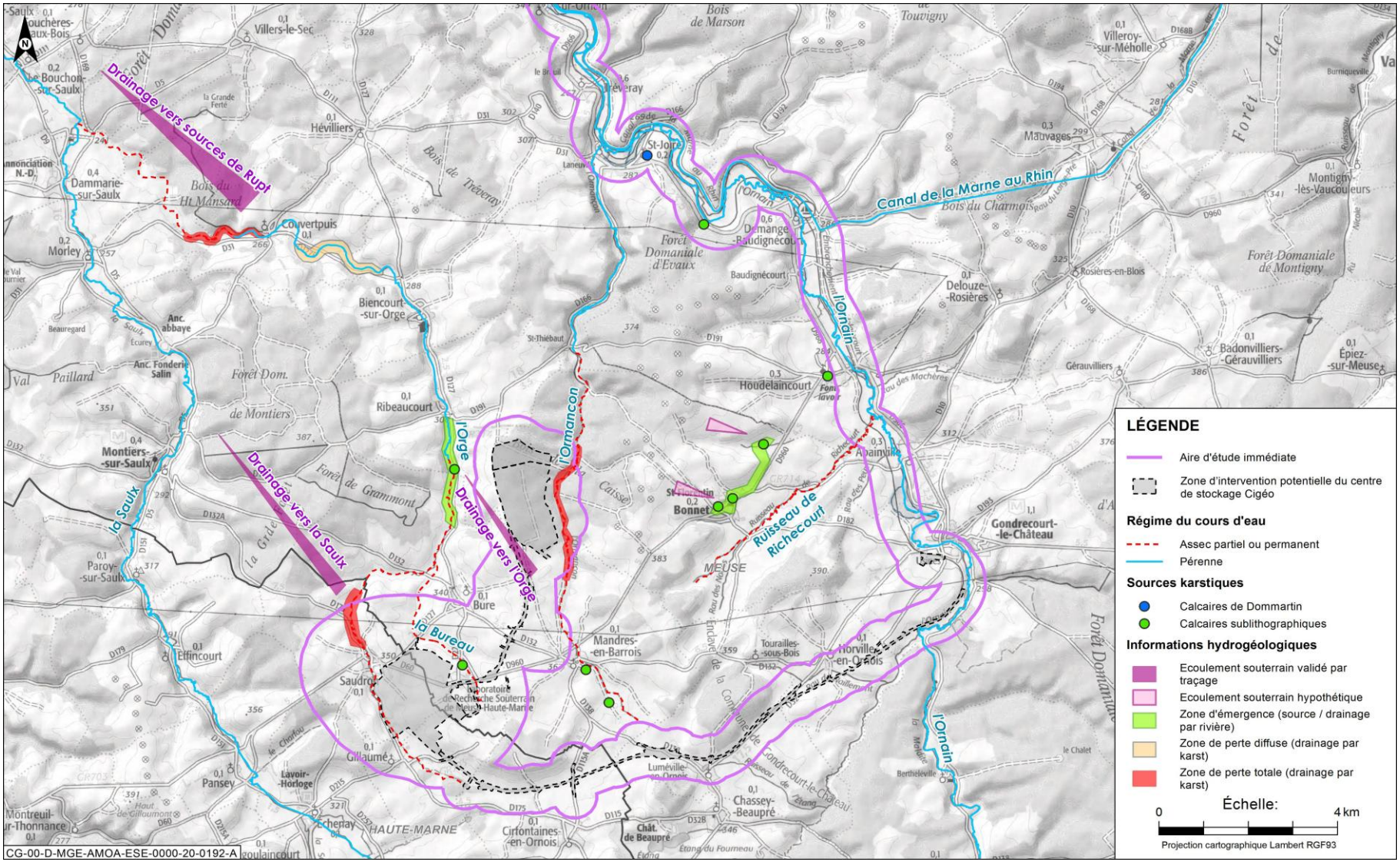


Figure 2-6 *Synthèse des informations hydrogéologiques des relations de l'Orge, de La Bureau et de l'Ormançon avec l'aquifère des Calcaires du Barrois*

2.3 Le cadre hydrologique

Le réseau hydrographique de surface à proximité de l'INB se trouve au niveau de l'interfluve de la Meuse et de la Marne. Cinq rivières régissent, à l'échelle régionale, les écoulements de surface de la zone concernée par l'implantation de cette INB.

De l'est vers l'ouest, cf. figure 2-6 ci-avant, il s'agit de : l'Ornain, l'Ormançon (affluent de l'Ornain), la Bureau (affluent de l'Orge), l'Orge (affluent de la Saulx) et la Saulx. Toutes ces cours d'eau font partie du bassin versant de la Marne. Les zones (descenderies et puits) d'implantation de l'INB se trouvent sur les bassins versant de l'Orge (de la Bureau), de l'Ormançon et de la Saulx. Les caractéristiques de ces bassins versants sont données dans le tableau 2-1. La zone d'implantation de l'INB se situe sur un plateau topographique. Les cours d'eau de l'Orge et de la Bureau sont situés en aval topographique de ce plateau avec une différence d'altitude supérieure à 20 mètres entre la zone d'implantation de l'INB et les cours d'eau (38 mètres pour l'Orge et 22 mètres pour la Bureau). Ces cours d'eau coulent dans leur partie amont, au sud de la zone d'implantation de l'INB, sur le Kimméridgien marneux et leurs vallées entaillent les Calcaires du Barrois vers le nord.

Tableau 2-1 Tableau des caractéristiques des bassins versants de la zone d'implantation de l'INB

	Bassin versant de la Saulx	« Sous-bassin versant » de l'Orge	« Sous-bassin versant » de l'Ormançon[3]
Superficie (km²)	2 100	101	41
Longueur du cours d'eau (km)	115,4	26,3	15,7
Source	Germay (dép.52)	Gillaumé (dép.52)	Mandres-en-Barrois (dép.55)

Le débit est le principal paramètre quantitatif permettant d'évaluer l'importance relative d'un cours d'eau. Les données de débits proviennent soit du site Banque Hydro[4] ou soit d'acquisition réalisée par l'Andra sur la période 2011 à 2019. Vis-à-vis de ces dernières, les données de débit sont acquises :

- en continu pour les stations de la Saulx (OPE90011, OPE90012 et OPE90013), l'Ornain (OPE90014 et OPE90015) et de l'Orge (OPE01751) ;
- ou par la réalisation de jaugeages ponctuels par des prestataires sur tous les autres points de suivi.

La figure 2-7 ci-après localise les points de suivi des eaux de surface (OPE90011, etc.). Le tableau 2-2 présente les valeurs moyennes annuelles des débits mensuels ainsi que les débits maxima instantanés mesurés sur la période allant de 2011 à 2019 ou extraits du site Banque Hydro sur la période allant de 1997 à 2021.

[3] Pour mémoire, le bassin de l'Ornain (dont l'Ormançon est un affluent) se caractérise par une superficie de 913 km², une longueur de cours d'eau de 115,2 km. La source de l'Ornain est située à Grand (dép.88).
[4] http://www.hydro.eaufrance.fr/.

Tableau 2-2 *Synthèses des débits des cours d'eau situés à proximité immédiate de l'INB*

	La Saulx	L'Orge	L'Ormançon[5]
Débit moyen mensuel (m^3/s)	Entre 0,5 et 1,5 (*)	Entre 0,05 et 0,5 (**)	Très faible
Débit maximum instantané (m^3/s)	22	3	1,8

** Mesures à Échenay, Paroy-sur-Saulx, Montiers-sur-Saulx et Ménil-sur-Saulx.*

*** Mesures à Saudron, Ribeaucourt et Biencourt-sur-Orge.*

La suite de ce chapitre apporte un descriptif synthétique de ces cours d'eau. Le détail de leur description et des données s'y rapportant (débits, historiques des inondations et des hauteurs d'eau maximales…) et les points/moyens de mesure sont décrits en détail dans le volume 3 de la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (1).

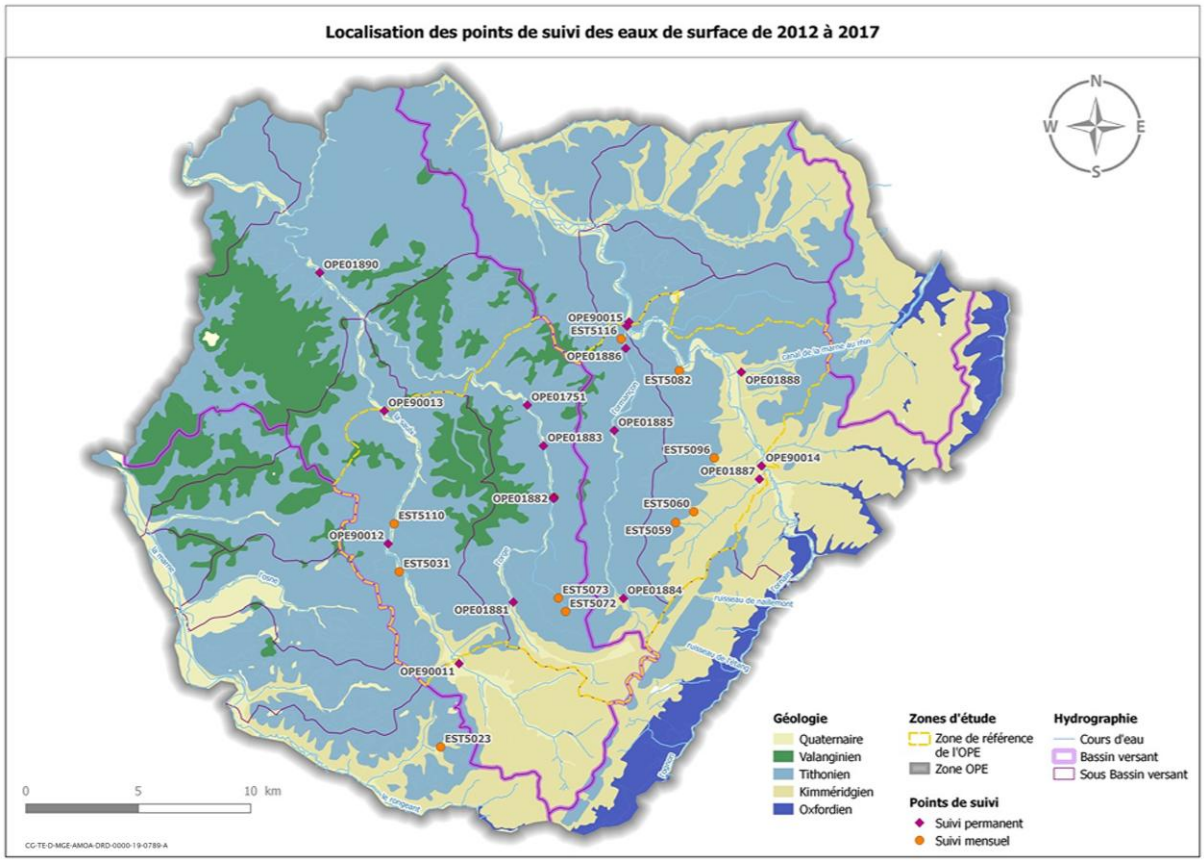


Figure 2-7 *Carte de localisation des points de suivi des eaux de surface*

[5] Pour mémoire, le bassin de l'Ornain (dont l'Ormançon est un affluent) se caractérise par une superficie de 913 km^2, une longueur de cours d'eau de 115,2 km. La source de l'Ornain est située à Grand (dep.88).

2.3.1 La Saulx

La Saulx prend sa source à Germay (département de Haute-Marne) à une altitude de 346 mètres. Cette rivière longue d'environ 116 km, est l'un des principaux affluents de la Marne avec laquelle elle conflue près de Vitry-Le-François à une altitude de 89 mètres (pente moyenne de 0,22 %). Son bassin versant topographique s'étend sur 2 100 km^2.

Ce cours d'eau pérenne à proximité de la zone d'implantation de l'INB (et au-delà en aval hydraulique) est alimenté par plusieurs autres cours d'eau tels que l'Orge, la Saur et le Charfou.

2.3.2 L'Orge

L'Orge prend sa source à Gillaumé (département Haute-Marne) dans la zone d'affleurement marno-calcaire du Kimméridgien mais une seconde résurgence alimente le cours d'eau au droit de la Fontaine de Ribeaucourt. D'une longueur de 26,3 km, il conflue avec la Saulx au nord de Dammarie-sur-Saulx et son bassin versant s'étend sur 101 km^2.

Ce cours d'eau présente des faibles débits. Ils sont principalement dus à la position du cours d'eau dans le bassin versant (tête de bassin) ainsi qu'au contexte karstique qui provoque des variations de débit rapides et de forte amplitude. L'Orge présente toutefois un caractère pérenne sur deux tronçons :

- en amont de Saudron où les bancs calcaires du Kimméridgien supérieur sont drainés par de petites sources de débordement ou des écoulements hypodermiques de l'aquifère des Calcaires du Barrois, formation géologique constituant les parties hautes du bassin versant du cours d'eau ;
- en amont de Ribeaucourt et jusqu'au niveau de Couvertpuis, l'Orge montre un écoulement pérenne correspondant au drainage des Calcaires du Barrois et plus vraisemblablement aux niveaux correspondants aux calcaires de Dommartin.

Entre ces deux tronçons, des phénomènes de pertes sont constatés. Ces dernières peuvent être totales en périodes d'étiages. Des zones de pertes avérées sont constatées notamment au droit de Saudron sur les calcaires sublithographiques et en divers autres endroits (au droit de la ferme de Domrémy Saint Antoine, à Ribeaucourt et Biencourt-sur-Orge… cf. Pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (1)). Ainsi, le caractère intermittent ou pérenne de son écoulement dépend de la formation géologique sur laquelle il s'écoule.

Quant au ruisseau de la Bureau, affluent de l'Orge, il prend sa source sur la commune de Bure (département de la Meuse) au droit des sources du Cité, après le franchissement de la route départementale D960, il est de nouveau alimenté par la source du Bindeuil. Il se jette dans l'Orge en amont de la ferme de Domrémy Saint-Antoine sur la commune de Bure. La superficie de son bassin versant est de 8,6 km^2 et le ruisseau s'écoule sur 4,6 km. Les débits des deux principales sources d'alimentation de la Bureau ont été mesurés par l'Andra : les sources du Cité et du Bindeuil. Ces débits sont relativement faibles (<0,5 m^3/s^{-1}). Ces deux sources sont ponctuellement à sec en période estivale. Ces faibles débits sont principalement dus à la position du cours d'eau dans le bassin versant (tête de bassin) ainsi qu'au contexte karstique de la formation géologique des Calcaires du Barrois. Ainsi, La Bureau est quasiment en assec permanent en période de basses eaux le long de son tracé malgré la présence des sources du Bindeuil et de la Cité.

2.3.3 L'Ormançon

L'Ormançon prend sa source au sud de Mandres-en-Barrois (département de la Meuse). Il s'écoule sur environ 15 km avant de confluer avec l'Ornain à Laneuville, à proximité de Saint-Joire. Son bassin versant s'étend sur 41 km^2. En tête de bassin versant, l'Ormançon se présente sous la forme d'un fossé agricole, surpâturé par endroits et typique du chevelu amont d'un bassin versant. Dans la traversée de Mandres-en-Barrois, il est fortement impacté par les aménagements anthropiques mais peut aussi apparaître comme un écoulement avec une ripisylve importante au niveau du lavoir du village.

Ce cours d'eau est caractérisé par de longues périodes d'assecs (assèchements). Les mesures de débits instantanés effectuées varient de 0 à 1.8 m^3/s^{-1} (cf. Tableau 1-1 et tableau 2-2). Comme pour l'Orge, l'Ormançon est également caractérisé par des zones de pertes avérées à l'affleurement des calcaires sublithographiques du Barrois (cf. Pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (1)).

À partir de la ferme Saint- Thibault, le cours d'eau s'écoule sur la formation de la Pierre Châline et l'écoulement redevient pérenne jusqu'à la confluence avec l'Ornain à Laneuville.

2.3.4 L'historique en termes d'inondation

La vallée de la Saulx a été sujette à plusieurs inondations au cours du 20e siècle (1910 – 1947/1948 – 1982/1983). Selon les éléments hydrologiques de ce cours d'eau, les inondations peuvent être qualifiées d'inondation de plaine (la rivière sort de son lit mineur).

Concernant l'Orge, des inondations et des coulées de boue survenues sur la commune de Saudron ont été reconnues comme catastrophe naturelle avec notamment l'évènement du 28 au 29 octobre 1998 et celui du 13 janvier 2004. Selon la Direction départementale des territoires de la Meuse, l'Orge sur la commune de Bure présenterait des inondations de type torrentiel.

L'atlas des zones inondables de Lorraine/Bassin Rhin-Meuse issue de Géorisques couvre l'Orge depuis l'extrême nord de la commune de Saudron jusqu'à sa confluence avec la Saulx. La zone inondable représentée correspond à la zone maximale inondable définie par l'étude des hydrosystèmes fluviatiles. La zone délimitée regroupe le lit mineur, le lit majeur et le lit majeur exceptionnel du cours d'eau. Elle correspond au champ d'inondation des crues exceptionnelles. Cet atlas indique également une zone à risque de crue avec la crue centennale modélisée le long de l'Ornain sur les communes de Baudignécourt, Demange aux Eaux, Saint-Joire et Tréveray, communes très à l'aval de la zone d'implantation de l'INB.

2.3.5 Le risque d'inondation

Comme indiqué précédemment, la zone d'implantation de l'INB est située en amont topographique des cours d'eau de la Bureau et de l'Orge, avec une différence d'altitude supérieure à 20 m. Le risque d'inondation de l'INB par la montée du niveau de ces cours d'eau lors d'une crue est ainsi écarté.

L'analyse du risque d'inondation de l'installation INB par remontée de nappe est traitée par la simulation numérique. Dans ce cadre, un modèle hydrogéologique des Calcaires du Barrois permettant de reproduire les écoulements de surface conjointement aux écoulements souterrains est développé par le Centre Hydrogéologique de Neuchâtel. Le modèle numérique représente les 3 formations aquifères (Calcaires cariés, Calcaires de Dommartin et Calcaires sublithographiques) et les 2 formations semi-perméables (Pierre Châline et Oolithe de Bure) sur la base du modèle conceptuel des écoulements dans les Calcaires du Barrois (cf. Figure 2-2).

Dans ces formations, les écoulements (surface et souterrains) sont fortement marqués par la nature karstique des terrains (fracturation dense, drains verticaux et horizontaux, zones d'infiltration préférentielles, réseaux de conduits karstiques). Le réseau hydrographique de surface est représenté dans le modèle afin de prendre en compte la forte interaction, caractéristique des milieux karstiques, entre les eaux de surface et les eaux souterraines (pertes des cours d'eau et résurgences des eaux souterraines). La modélisation de ces processus est un exercice à part qui nécessite une discrétisation forte des propriétés physiques du milieu, en lien avec les données disponibles, et faisant intervenir des solutions numériques complexes de l'écoulement ainsi que des outils de paramétrisation automatique contraints par les données acquises sur le secteur. Ce modèle, dont le développement se poursuit dans un souci d'amélioration continue de la connaissance, a fourni un premier aperçu des enjeux liés au risque d'inondation sur la zone d'implantation de l'INB :

- les travaux de terrassement prévus pour la construction des installations de surface vont exhumer des formations géologiques peu perméables, pouvant ainsi provoquer l'accumulation d'eau en surface (cf. Figure 2-8). Les résultats de modélisation font en ce sens apparaître des zones

d'accumulation des eaux de surface qui n'étaient pas présentes avant les travaux de terrassement. L'identification de ces zones permet d'adapter les ouvrages de drainage des eaux de surface et d'en tester l'efficacité grâce au modèle hydrogéologique ;

- le dispositif de protection et le réseau de drainage associé, actuellement prévu pour protéger l'INB du risque de remontée de nappe, sont testés dans le modèle hydrogéologique. Ce dispositif paraît efficace pour limiter les remontées de nappe mais n'est pas optimisé pour évacuer les eaux de surface qui s'accumule au sein du dispositif de protection. Le modèle hydrogéologique permettra prochainement de tester les autres solutions, et éventuellement d'améliorer la solution actuelle de protection contre le risque de remontée de nappe au droit de l'INB.

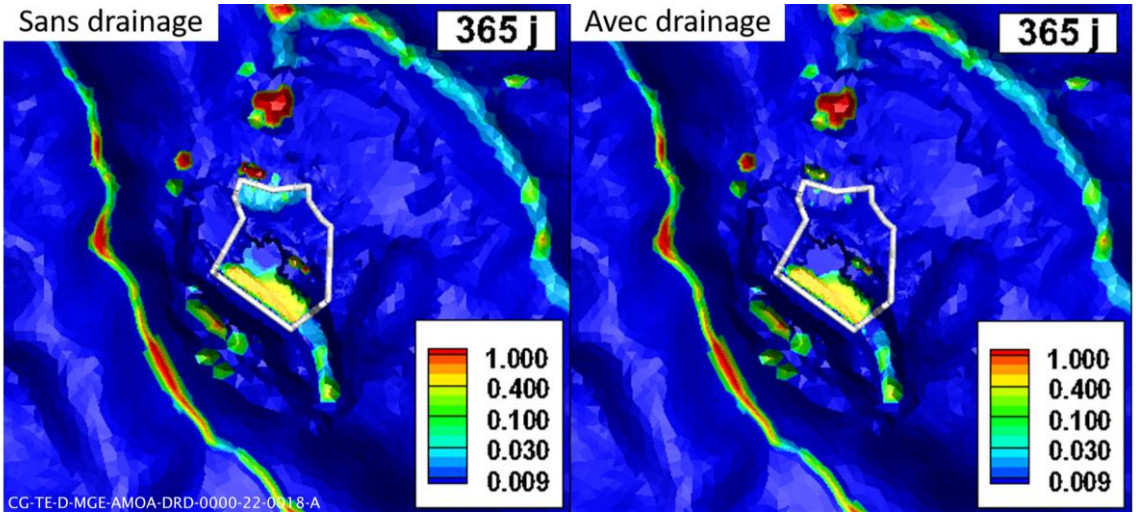


Figure 2-8 *Hauteurs d'eau simulées en surface au niveau de la zone descenderies (installation de l'INB) avec et sans réseau de drainage. Le réseau de drainage ne permet pas d'évacuer les accumulations d'eaux de surface (zones en rouge au nord de la zone descenderies), créées par l'exhumation de terrains peu-perméables dans des dépressions topographiques*

Enfin, compte tenu de la position des installations de surface en amont hydrologique du barrage du lac du Der Chantecoq, la zone d'implantation de l'INB ne fait pas partie d'une zone à risque d'inondation liée à la rupture d'un grand barrage.

Synthèse sur les eaux de surface et le risque inondation

La zone d'implantation des futures installations de surface fait partie des bassins versants de la Saulx, de l'Orge et de l'Ornain. La Saulx est un cours d'eau pérenne sur tout son transect tandis que l'Orge, la Bureau (affluent de l'Orge) et l'Ormançon (affluent de l'Ornain) sont caractérisés par de longues périodes d'assèchement à proximité des installations de surface en lien avec la nature fissurée/karstifiée des terrains. De fortes crues peuvent se produire en aval hydraulique et topographique de (i) la zone descenderie, dans l'Orge et la Bureau et (ii) de la zone puits, dans l'Ormançon. Ces crues sont liées à la mise en charge rapide du réseau de drains karstiques des Calcaires du Barrois lors d'importants évènements pluvieux mais elles ne constituent pas un risque pour l'inondation des installations de surface du fait de l'élévation topographique plus élevée des installations de surface. L'analyse du risque d'inondation du bâtiment EP1 de la zone descenderie par remontée de nappe est traitée par la simulation hydrogéologique en s'appuyant sur un modèle couplant la reproduction de l'équation de l'écoulement en surface avec la reproduction de l'équation de l'écoulement en milieu souterrain. Ces simulations sont également utilisées en support à la conception et au dimensionnement des ouvrages de protection contre le risque de remontée de nappe (ouvrage de protection, drains, etc.).

3

Le climat et la météorologie

3.1 Le climat actuel 80
3.2 La météorologie 83
3.3 L'évolution prévisible du climat sur la phase de fonctionnement 99

Pour la zone d'implantation de l'INB, l'objectif de ce chapitre est de décrire, d'une part, le climat actuel (cf. Chapitre 3.1 du présent volume) et les conditions météorologiques associées (cf. Chapitre 3.2 du présent volume) et, d'autre part, les perspectives en termes de climat sur la période de fonctionnement à l'aune, en particulier du réchauffement climatique (cf. Chapitre 3.3 du présent volume).

Les conditions climatiques, sont établies sur la base des normales climatiques de référence ainsi que sur des données complémentaires. **Les normales climatiques sont des produits statistiques calculés par Météo-France sur des périodes de 30 ans et elles sont recalculées tous les 10 ans. Les normales actuellement en vigueur ont été calculées sur la période 1981-2010. Les résultats présentés portent donc sur la période 1980-2019 et des sous-périodes en fonction des paramètres et des stations considérées.**

Ces données sont complétées par des données quantitatives issues des stations climatiques de référence pour les paramètres de grande échelle (sur la période 1980-2019) et complétés avec des données de stations de proximité pour les vents (sur la période 1999-2019) et les précipitations. En effet les vents et les précipitations sont des paramètres plus variables que les champs de pression ou de température et qui sont influencés par les conditions de surface notamment la topographie.

L'ensemble des données est restitué dans la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (1).

3.1 Le climat actuel

Le climat décrit de manière statistique l'ensemble des conditions météorologiques dans deux approches complémentaires, spatialement, et temporellement. Les caractéristiques climatiques sont donc définies à partir de séries temporelles de paramètres météorologiques (principalement pression, température, vent, précipitations) en s'intéressant à leurs propriétés statistiques (moyenne, médiane, écart type, distributions, valeurs extrêmes, temps de retour, etc.). Ces caractéristiques climatiques varient spatialement, et il existe différentes « zones climatiques » à la surface de la Terre, (on peut par exemple distinguer la zone tropicale des moyennes latitudes). Ces caractéristiques climatiques varient également dans le temps en fonction de nombreux mécanismes et rétroactions complexes. Depuis une centaine d'années, avec le développement des systèmes d'observations météorologiques, de nombreux phénomènes climatiques ont été observés dans différentes régions.

Le nord-est de la France est caractérisé par un climat de type continental avec une transition vers le type océanique sur sa marge ouest et une incursion de climat de montagne dans le massif vosgien. Malgré cette tendance continentale, la région Grand Est ne connaît de situations « continentales » caractéristiques (secs, froids et clairs en hiver, orageux en été) qu'une fraction limitée du temps (cf. Figure 3-1). En revanche, les temps doux et humides, associés aux passages de perturbations venues de l'océan en régime de sud-ouest, s'observent fréquemment tout au long de l'année.

Vis-à-vis des précipitations, elles varient de 1 900 mm au sud du massif vosgien à moins de 800 mm au centre du plateau lorrain et en limite de la Champagne-Ardenne. Plus que la chaleur de l'été, c'est l'intensité du froid hivernal qui engendre des écarts thermiques saisonniers très importants. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 10 °C sur le secteur d'implantation de l'INB.

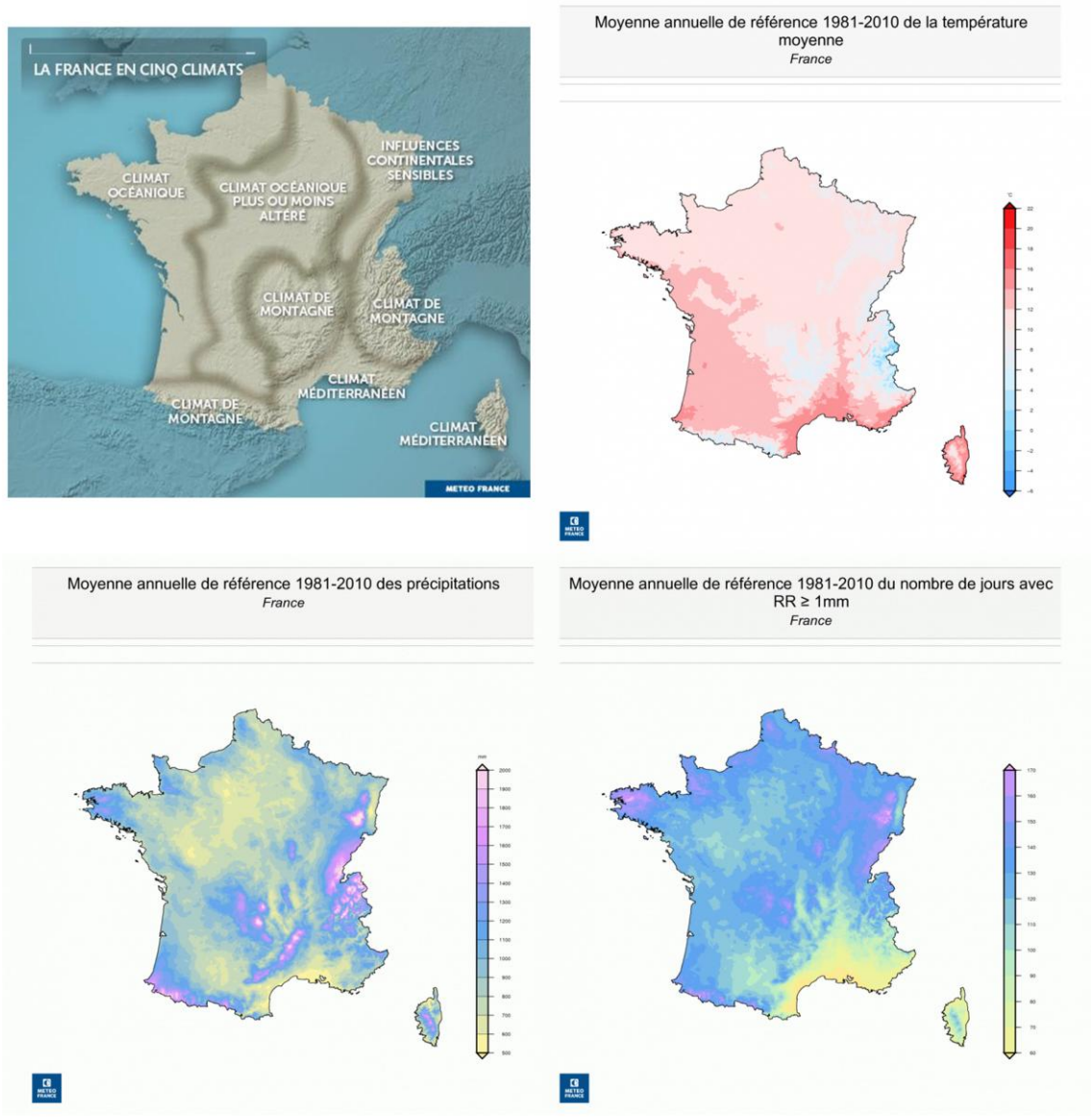


Figure 3-1 *Zones climatiques, température moyenne annuelle (°C), précipitations moyennes annuelle (mm) et nombre de jours de pluie sur la période de référence 1981-2010) (9)*

Le climat local et les régimes météorologiques sont contrôlés par ces facteurs de grande échelle mais sont également affectés par de multiples facteurs de surface (topographie, contraste terre/eau, occupation du sol...). La partie est du Bassin de Paris où se situe le centre de stockage Cigéo en Meuse/Haute-Marne est caractérisée par un paysage de cuestas recoupé par des vallées dont la forme et la profondeur dépendent de l'érosion exploitant les contrastes lithologiques entre les formations argileuses et calcaires. Lee secteur Meuse/Haute-Marne présente un pendage du sud-est/nord-ouest avec des altitudes culminant à plus de 400 mètres sur le plateau barrois dans le sud-est et descendant à 150 mètres dans le nord-ouest du secteur.

Par leur orientation nord-sud et leur altitude (supérieure à 300 mètres), les côtes de Meuse du secteur Meuse/Haute-Marne sont une zone favorable à l'établissement de vent marqué, ainsi qu'en témoigne le développement important de l'éolien dans la région ainsi qu'à de fortes précipitations. Le plateau du barrois est, à ce titre, exposé à des vents forts et à une pluviométrie importante.

Pour préciser ce portait préliminaire et établir une description quantitative du climat du sud meusien où est situé la zone d'implantation de l'INB, il faut recourir à des séries temporelles longues de données météorologiques. Météo-France, dispose de réseaux de stations d'observations et d'une base de données intégrant l'historique des données météorologiques validées et éventuellement homogénéisées sur l'ensemble des stations d'observation français. Le réseau d'observation et la base de données de Météo-France regroupent plusieurs types de stations réalisant différentes observations et disposant de chroniques différentes en fonction des dates d'ouverture et de fermeture.

Météo-France utilise des stations représentatives de type 0, 1 ou 2 pour établir des statistiques climatiques de référence. Dans un rayon de 50 km autour du centre de stockage Cigéo on ne trouve qu'une station climatique de référence en l'occurrence celle de Saint-Dizier.

Des stations secondaires plus proches du centre de stockage Cigéo permettent de compléter les statistiques de cette station climatique de référence et de rendre compte des variations locales. En effet alors que les variations de certains paramètres sont dominées par des facteurs de grande échelle, pour d'autres (le vent, les précipitations, le brouillard…) ces influences de grande échelle sont modulées par des facteurs locaux (topographie, type de surface…). À ce titre, les observations de stations locales sont utilisées en l'occurrence celles de :

- de Cirfontaines-en-Ornois situées à moins de 10 km de la zone d'implantation de l'INB ;
- d'Houdelaincourt située entre 10 km et 15 km de cette zone, pour la période plus récente (à partir de 2012).

Le tableau 3-1 présente les caractéristiques de ces stations.

Tableau 3-1 Caractéristiques des stations de Saint-Dizier, Cirfontaines-en-Ornois et Houdelaincourt

Code station	Nom	Ouverture (*)	Type	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Distance (km)
52448-001	Saint-Dizier	01/01/1921	0	139	48°37'48"N	04°54'12"E	35
52131-002	Cirfontaines-en-Ornois	01/03/1947	2	374	48°27'12"N	05°23'24"E	5
55248-001	Houdelaincourt	29/04/2011	1	390	48°33'42"N	5°30'18"E	10

(*) : NB : les données associées fournies par Météo-France ne sont toutefois pas forcément disponibles à la date d'ouverture de la station météo.

Aux données issues de ces trois stations s'ajoutent les informations collectées à la station météorologique de l'Andra EST6000, située sur le centre Meuse/Haute-Marne à Bure. Cette dernière n'utilise pas exactement les mêmes protocoles d'observation. Les données qui en sont issues ont pour objectifs de consolider la bonne représentativité sur le site d'implantation des données provenant des autres stations.

Les principales données climatiques annuelles des stations de Saint-Dizier et de Cirfontaines-en-Ornois sont résumées dans le tableau 3-2 et le tableau 3-3.

Tableau 3-2 *Les principales données climatiques sur la période 1981-2010 des stations de Saint-Dizier et de Cirfontaines-en-Ornois*

1981-2010	Altitude (m)	Distance (km)	Tx (°C)	Tm (°C)	Tn (°C)	Nb (Tx > 30) jour	Nb (Tn < 0) jour
Saint-Dizier	139	35	15,7	11,2	6,7	12,9	60,6
Cirfontaines	374	5	14,2	10,2	6,2	8,8	70,9

Tx : température maximale sur 24 h, Tm : température moyenne, Tn : température minimale sur 24 h

Nb (Tx >30) : nombre de jours annuels pour lesquels la température maximale dépasse 30 °C

Nb (Tn <0) : nombre de jours annuels pour lesquels la température minimale est inférieure à 0 °C)

Tableau 3-3 *Les principales données climatiques sur la période 1981-2010 des stations de Saint-Dizier et de Cirfontaines-en-Ornois*

1981-2010	Altitude (m)	Distance (km)	RR (mm)	Nb (RR > 1 mm) jour	Insolation heure	Vwnd (moy.10 mn) m.s-1
Saint-Dizier	139	35	843,7	131,1	1 726,9	3,2
Cirfontaines	374	5	923,1	140,6	-	-

RR : précipitations annuelles cumulées

Nb (RR >1 mm) : nombre de jours avec des précipitations), insolation, vent

Vwnd (moy.10 mn) : vitesse moyenne du vent sur 10 minutes

3.2 La météorologie

3.2.1 Les températures

Les données de températures enregistrées sur la période 1980-2019 sont présentées pour les stations de Saint-Dizier et de Cirfontaines. Les températures moyennes annuelles sur la période 1980-2019 sont de 10,2 °C à Cirfontaines et de 11,3 °C à Saint-Dizier (cf. Tableau 3-4). Sur cette période ; la température annuelle moyenne la plus basse/haute a été respectivement de 8,8 °C/11,4 °C à Cirfontaines et de 9,5 °C et 12,8 °C à Saint-Dizier.

Tableau 3-4 *Moyenne, écart type, minimum et maximum des températures moyenne annuelles des deux stations Météo-France Saint-Dizier et Cirfontaines, établies sur la période 1980-2019*

1980-2019 °C	Tm Saint-Dizier	Tm Cirfontaines
Moyenne	11,3	10,2
Écart type	0,8	0,7
Minimum	9,5	8,8
Maximum	12,8	11,4

Les données de température des deux stations de référence peuvent être comparées avec les deux stations locales Houdelaincourt et EST6000 sur la période 2012-2019 (cf. Tableau 3-5). Sur cette période, il apparaît que :

- la température moyenne de Houdelaincourt et de EST6000 est très proche de celle de Cirfontaines ;
- la température moyenne fournie par la station de Saint-Dizier est supérieure de près de 1,5 °C à celles issues des autres stations locales (un écart similaire est observé dans les températures moyennes les plus basses ou les plus hautes).

Tableau 3-5 *Moyenne, minimum et maximum des températures moyenne annuelles des trois stations Météo-France Saint-Dizier, Cirfontaines et Houdelaincourt ainsi que EST6000 sur la période 2012-2019.*

2012-2019 °C	Tm Saint-Dizier	Tm Cirfontaines	Tm Houdelaincourt	Tm EST6000
Moyenne	11,9	10,6	10,6	10,5
Minimum	11	9,1	9,3	9,3
Maximum	12,8	11,4	11,5	11,2

L'évolution de la température annuelle moyenne sur la période 1980-2019 est illustrée sur la figure 3-2. On observe des variations interannuelles importantes avec un écart type de l'ordre de 0,7 °C. Une tendance à l'augmentation des températures moyennes annuelles de l'ordre de 1 °C entre 1980 et 2019 est également observée.

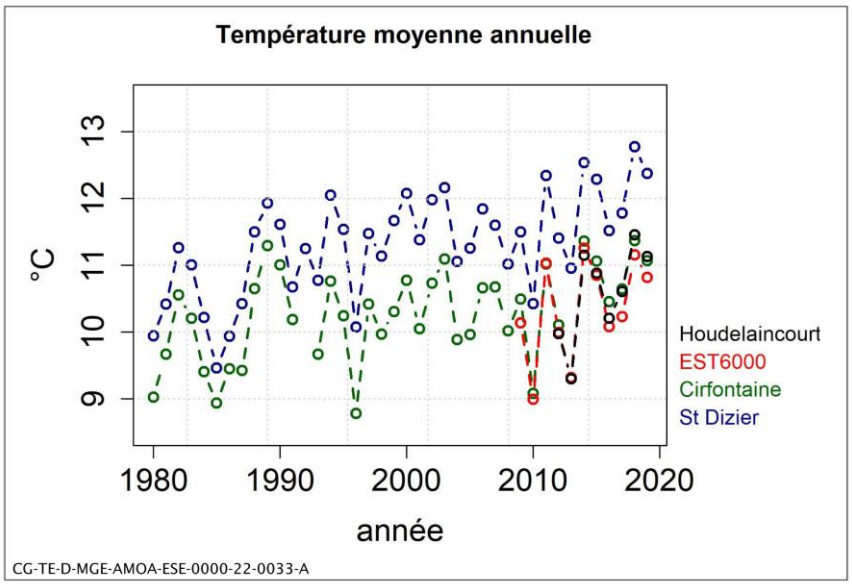


Figure 3-2 *Évolution des températures moyennes annuelles (en degré °C) mesurées à Saint-Dizier et Cirfontaines (1980-2019), à Bure (station EST6000 2009-2019) et à Houdelaincourt (2012-2019)*

La comparaison des températures moyennes annuelles mesurées à Saint-Dizier et Houdelaincourt entre 2012 et 2019 est présentée dans le tableau 3-6. 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 3-6 *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
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**

En analyse des données de températures présentées par les stations de proximité, les points suivants peuvent être relevés :

- les températures moyennes des trois stations de proximité sur la période commune 2012-2019 varient entre 10,5 °C et 10,7 °C tandis que la station de Saint-Dizier a une température moyenne annuelle, plus élevée (11,9 °C) ;
- entre 1980 et 2019, soit sur quarante ans, les températures moyennes annuelles ont varié entre 8,8 °C et 11,4 °C à Cirfontaines et entre 9,5 °C et 12,8 °C à Saint-Dizier (la variation temporelle est plus élevée que la variation spatiale) ;
- la température annuelle moyenne à Saint-Dizier est plus élevée que la température annuelle maximale de Cirfontaines ;
- sur la période commune 2012-2019, les trois stations Cirfontaines, Houdelaincourt et EST6000 sont cohérentes et du même ordre que la maximale de Cirfontaines ;
- il y a une bonne cohérence des variations temporelles des données issues des quatre stations.

Les cycles annuels moyens des températures minimales et maximales pour les quatre stations de Saint-Dizier (en bleu), Cirfontaines (en vert), Houdelaincourt (en noir) et EST6000 (rouge) sont illustrés sur la figure 3-3.

Les cycles annuels de Saint-Dizier et de Cirfontaines ont été calculés sur les deux périodes 1980-2019 et 2012-2019. Les cycles annuels des stations de EST6000 et de Houdelaincourt ont été calculés sur la période 2012-2019. Sur ce graphique sont donc représentés à la fois des variations spatiales entre les quatre stations et des variations temporelles avec la prise en compte de différentes périodes d'estimation des cycles annuels.

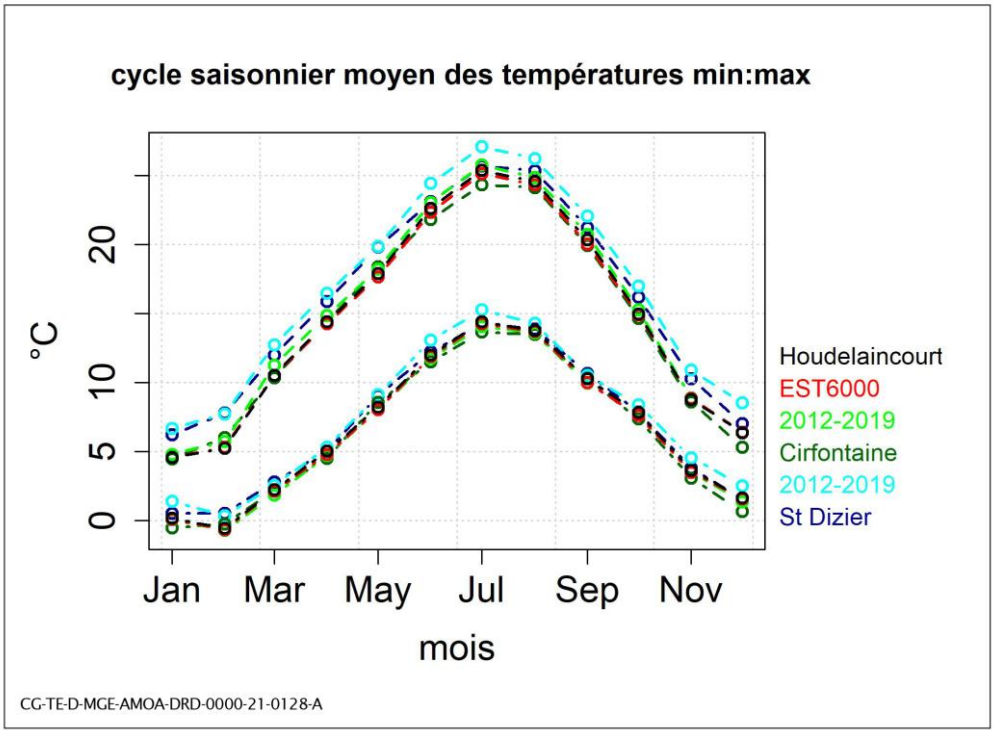


Figure 3-3 Cycle saisonnier moyen des températures min. et max.

En analyse des cycles saisonniers moyens présentés sur la figure ci-avant, il peut être relevé que :

- d'un point de vue spatial, il y a cohérence entre les données de Houdelaincourt et les données EST6000 sur la période 2012-2019, les cycles annuels des deux stations étant quasiment confondus ;
- sur la même période, le cycle annuel de la station de Cirfontaines est également quasiment confondu avec Houdelaincourt sauf pour la température maximale qui est légèrement distincte au printemps et en été ;
- le cycle annuel de la station de Saint-Dizier est clairement décalé vers des valeurs plus élevées. Sur la période 2012-2019 le cycle annuel présente une amplitude de 17,9 °C à Cirfontaines, et à Houdelaincourt, de 17,7 °C à EST6000 et Saint-Dizier. Sur la période 1980-2019, le cycle annuel présente une amplitude de 17,0 °C à Cirfontaines, et de 16,7 °C à Saint-Dizier. Enfin l'amplitude thermique journalière moyenne est plus importante en été (entre 11,4 °C et 10,6 °C en juillet) qu'en hiver (entre 5 °C et 5,7 °C en janvier).

Vis-à-vis des températures extrêmes, les relevés des stations de Cirfontaines et de Saint-Dizier sont utilisés (cf. Tableau 3-7 et tableau 3-8 ci-après). Les valeurs d'extrema relevées à Saint-Dizier portent sur la période 1953-2020, celles de Cirfontaines concernent la période 1959-2020. En point saillant, il peut être relevé que :

- les températures maximales ont atteint 39,4 °C en juillet 2019 et 40 °C en août 2003 à Cirfontaines tandis qu'elles ont atteint 41,4 °C en juillet 2019 et 40,4 °C en août 2003 à Saint-Dizier ;
- 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, pour -17,3 °C en décembre 2009, -20,5 °C en janvier 1985 et -22,5 °C en février 1956 à Saint-Dizier.

Comme pour les autres données, les extrema relevés à Saint-Dizier sont plus pénalisants.

Tableau 3-7 *Extrema de températures enregistrées à Saint-Dizier sur la période 01-06-1953 au 21-09-2020*

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
T. 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. 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**

Tableau 3-8 *Extrema de températures enregistrées à Cirfontaines sur la période 01-01-1959 au 21-09-2020*

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
T. la plus élevée	14,8	22,8	23,5	28	30,8	34,9	39,4	40	34,2	27,5	21,7	17
Date	**28-1967**	**27-2019**	**31-1989**	**25-2007**	**12-1998**	**22-2017**	**24-2019**	**12-2003**	**02-1962**	**02-1985**	**07-2015**	**18-1989**
T. la plus basse	-19	-19,6	-16,1	-6,2	-3	-1,5	3	2,8	-0,4	-4,6	-11,9	-17
Date	**12-1987**	**06-1963**	**01-2005**	**08-2003**	**07-1979**	**13-1978**	**19-1977**	**26-1966**	**20-1962**	**22-1964**	**23-1998**	**20-2009**

3.2.2 Les précipitations

Les données de précipitations enregistrées sont présentées pour les stations de Saint-Dizier et de Cirfontaines[6] sur respectivement environ 40 ans et 30 ans (cf. Tableau 3-9).

Les cumuls annuels moyens de précipitations sont de 824 mm à Saint-Dizier sur la période 1980-2019 et de 899 mm à Cirfontaines sur la période 1993-2019 (cf. Tableau 3-10). L'occurrence de précipitation supérieure sur le plateau du Barrois, par rapport à Saint-Dizier, est confirmée sur la période 2012-2019 pour laquelle nous disposons en plus des données de la station d'Houdelaincourt et de la station EST6000. Cette différence s'explique principalement par la topographie (différence d'altitude).

Tableau 3-9 *Moyenne, écart type, minimum et maximum des cumuls annuels de précipitations des deux stations Météo-France Saint-Dizier sur la période 1980-2019 et Cirfontaines, sur la période 1993-2019*

Rr (mm)	Saint-Dizier 1980-2019	Cirfontaines 1993-2019
Moyenne	824	899
Écart type	137	126
Minimum	562	633
Maximum	1 094	1 175

Tableau 3-10 *Moyenne, minimum et maximum des cumuls annuels de précipitations des trois stations Météo-France Saint-Dizier, Cirfontaines et Houdelaincourt et de la station EST6000, sur la période 2012-2019*

2012-2019 (mm)	Rr Saint-Dizier	Rr Cirfontaines	Rr Houdelaincourt	Rr EST6000
Moyenne	763	871	842	958
Minimum	621	718	715	788
Maximum	942	1030	1 014	1 132

Le cycle annuel des précipitations est illustré sur les figures ci-après pour :

- les stations de Saint-Dizier et Cirfontaines sur la période 1993-2019 (cf. Figure 3-4) ;
- ces deux stations plus celles d'Houdelaincourt et d'EST6000 sur la période 2012-2019 (cf. Figure 3-5).

La figure 3-4 montre qu'à Saint-Dizier et Cirfontaines les précipitations sont réparties durant toute l'année (avec des cumuls mensuels atteignant respectivement environ 70 mm et 90 mm). Le printemps est une saison légèrement moins humide, les deux mois de l'année les plus secs étant mars et avril. C'est en automne et hiver que les différences de cumuls de précipitations sont les plus importantes entre les deux stations suggérant des processus différents, les précipitations étant principalement associées aux grands systèmes dépressionnaires en hiver et les précipitations étant liées aux orages plus ou moins organisés en été.

[6] Les données de précipitations mensuelles de la station de Cirfontaines, manquantes pour les mois de novembre et décembre 2013, ont été estimées, conduisant à définir un cumul annuel pour 2013 de 1030 mm.

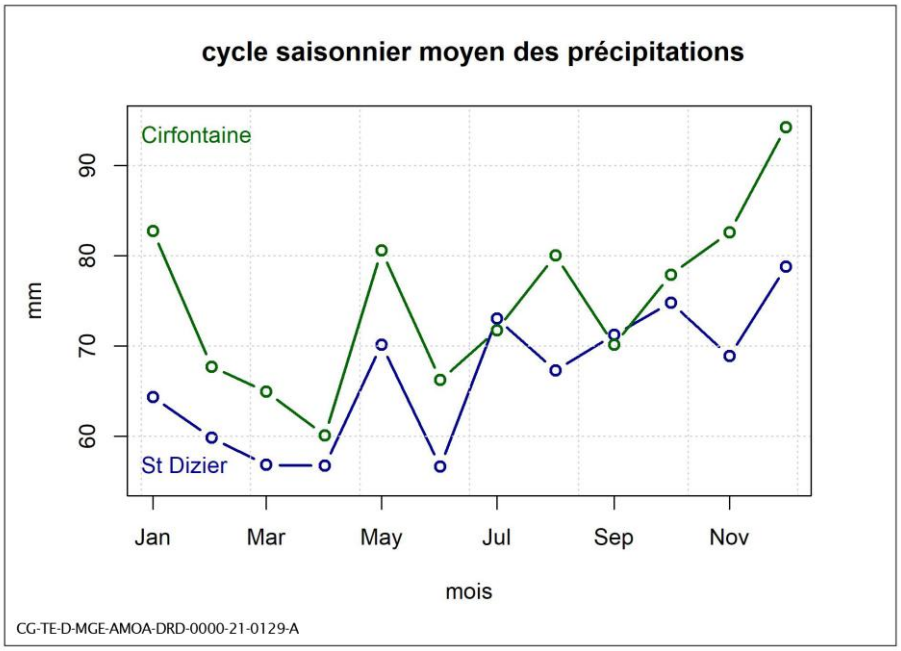


Figure 3-4 *Cycles annuels moyens des précipitations établis sur la période 1993-2019 pour les stations de Saint-Dizier et Cirfontaines*

La figure 3-5 montre, sur la période 2012-2019, que les trois stations du plateau du Barrois ont un cycle annuel plus marqué avec deux périodes « sèches » entre février et avril et entre juillet et septembre et trois périodes plus humides en mai-juin puis sur novembre-janvier.

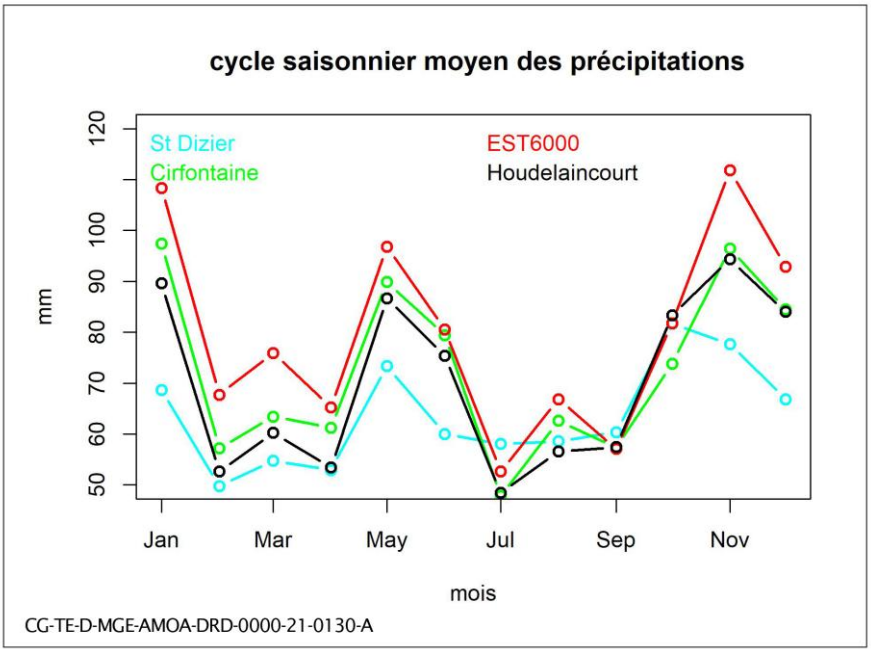


Figure 3-5 *Cycles annuels moyens des précipitations établis sur la période 2012-2019 pour les stations de Saint-Dizier, Cirfontaines, Houdelaincourt et EST6000*

Les trois stations Cirfontaines, Houdelaincourt et EST6000 ont un cycle annuel comparable à l'exception du mois de novembre sur EST6000 qui dévie sensiblement des deux autres stations.

L'évolution des cumuls annuels de précipitations sur la période 1980-2019 est illustrée sur la figure 3-6. Des variations interannuelles importantes sont observées avec un écart type de l'ordre de 137 mm. Une tendance à la diminution des précipitations annuelles est également relevée, de l'ordre 5 mm par an entre 1980 et 2019 sur la station de Saint-Dizier, la seule disposant d'une longue série d'observations.

Il y a une bonne cohérence des fluctuations interannuelles sur les quatre stations avec un contraste particulièrement fort entre l'année 2001 et l'année 2003. Sur la période 2012-2019, le cumul relevé à Houdelaincourt est très proche de celui de Cirfontaines avec des précipitations moins importantes comparées à EST6000 (et comme indiqué précédemment supérieur à ce qui est relevé à Saint-Dizier).

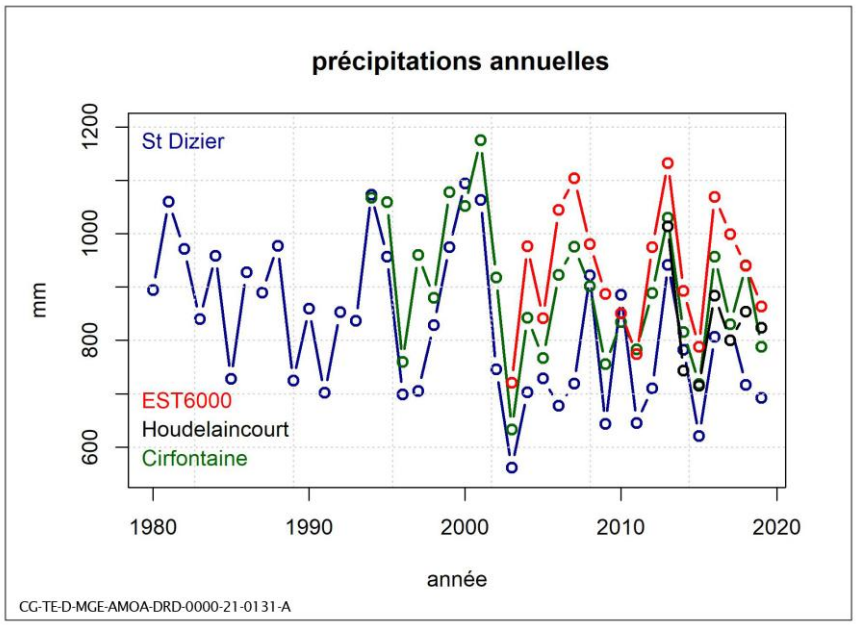


Figure 3-6 *Évolution du cumul annuel moyen de précipitations à Saint-Dizier, Cirfontaines, EST6000 et Houdelaincourt entre 1980 et 2019*

Le nombre moyen de jours pluvieux par mois est présenté dans le tableau 3-11 et le tableau 3-12 respectivement pour la station de Saint-Dizier sur la période 1981-2010 et pour la station de Cirfontaines sur la période 1992-2010[7].

En moyenne cent trente et un jours de pluie par an, dont vingt-quatre avec des pluies dont le cumul journalier est supérieur à 10 mm, ont été enregistrés à Saint-Dizier. À comparer avec Cirfontaines où 141 jours de pluie par an dont 28 avec un cumul supérieur à 10 mm ont été observés sur la période 1992-2010[2].

Tableau 3-11 *Nombre de jours pluvieux moyen par mois pour la station de Saint-Dizier sur la période 1981-2010*

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Années
Rr[8] > = 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

[7] Les données proviennent des fiches climatologiques disponibles seulement sur les périodes de 30 ans. Au stade de la présente version préliminaire du rapport de sûreté, les fiches climatologiques disponibles sont toujours sur la période 1981-2010 et n'ont pas encore été mises à jour par Météo-France.

[8] Rr : cumul quotidien de précipitations en millimètres

Tableau 3-12 *Nombre de jours pluvieux moyen par mois pour la station de Cirfontaines sur la période 1981-2010*

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Années
Rr > = 1mm	13,1	12,1	11,5	11	11,4	9,6	11,6	10,7	10,1	11,6	13,8	14	141
Rr > = 10mm	2	2,3	1,9	1,8	2,6	1,5	2,4	3,5	2,8	2,4	2,5	2,6	28

Les hauteurs quotidiennes maximales de précipitations (en mm) enregistrées à la station de Saint-Dizier sur la période d'avril 1954 à septembre 2020 et à la station de Cirfontaines sur la période 1992-2020 sont présentées respectivement dans le tableau 3-13 et le tableau 3-14. À Saint-Dizier, un record de 100 mm a été enregistré le 11 septembre 2005 et de 73 mm le 23 juin 1974. À Cirfontaines un record de 66 mm a été enregistré le 13 janvier 2004 et de 63 mm le 05 octobre 2013.

Tableau 3-13 *Hauteurs quotidiennes maximales de précipitations (mm) enregistrées à la station de Saint-Dizier entre avril 1954 et septembre 2020*

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Années
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

Tableau 3-14 *Hauteurs quotidiennes maximales de précipitations (mm) enregistrées à la station de Cirfontaines entre 1992 et 2020*

	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Années
Rr (mm)	65,6	53,4	32,8	28,6	51,4	49,4	38,2	51,6	50	63,2	45	33,8	65,6
Jour an	13-2004	25-1997	19-2002	26-2013	13-2009	19-2013	09-2000	07-2018	13-2017	05-2013	20-2015	18-1999	2004

Concernant les phénomènes de précipitations particuliers de type orage, grêle ou évènements neigeux, seules des données issues de la station de Saint-Dizier sont disponibles. En effet, l'observation de ce type d'événements n'est réalisée que sur un nombre restreint de stations[9].

Le tableau 3-15 rapporte les nombres de jours moyens ayant connu un épisode d'orage, de grêle ou de neiges 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 de brouillard apparaissent en automne et hiver avec cinq à six jours par mois en moyenne. Les épisodes neigeux (entre novembre et mars) atteignent une moyenne de 4,4 jours de neige par mois en janvier.

[9] Les précipitations et tout particulièrement les phénomènes orageux et les épisodes de grêles sont des phénomènes hautement variables spatialement et temporellement.

Tableau 3-15 *Nombre moyen de jour de brouillard, d'orage, de grêle ou de neige à la station de Saint-Dizier sur la période 1981-2010*

	Janv.	Fév.	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[10]	4,4	-	2,4	0,6	0	0	0	0	0	0	1,9	-

Vis-à-vis du cumul de neige, les données disponibles pour Saint-Dizier sur la période 2007-2016 sont les suivantes[11] :

- le cumul annuel moyen de neige à Saint-Dizier est de 8 cm ;
- le cumul annuel maximum a été mesuré en 2010 à 27 cm ;
- le cumul maximal sur 24 heures mesuré à Saint-Dizier sur cette même période est de 7 cm.

3.2.3 Les régimes de vent

Les principaux régimes de vent sont établis à partir des données tri-horaires de la station de référence de Saint-Dizier sur la période 1999-2019. Cette station est située à proximité de la zone d'observation mais dans une situation topographique particulière. Les caractéristiques grandes échelles de cette station peuvent donc se retrouver sur d'autres stations du secteur.

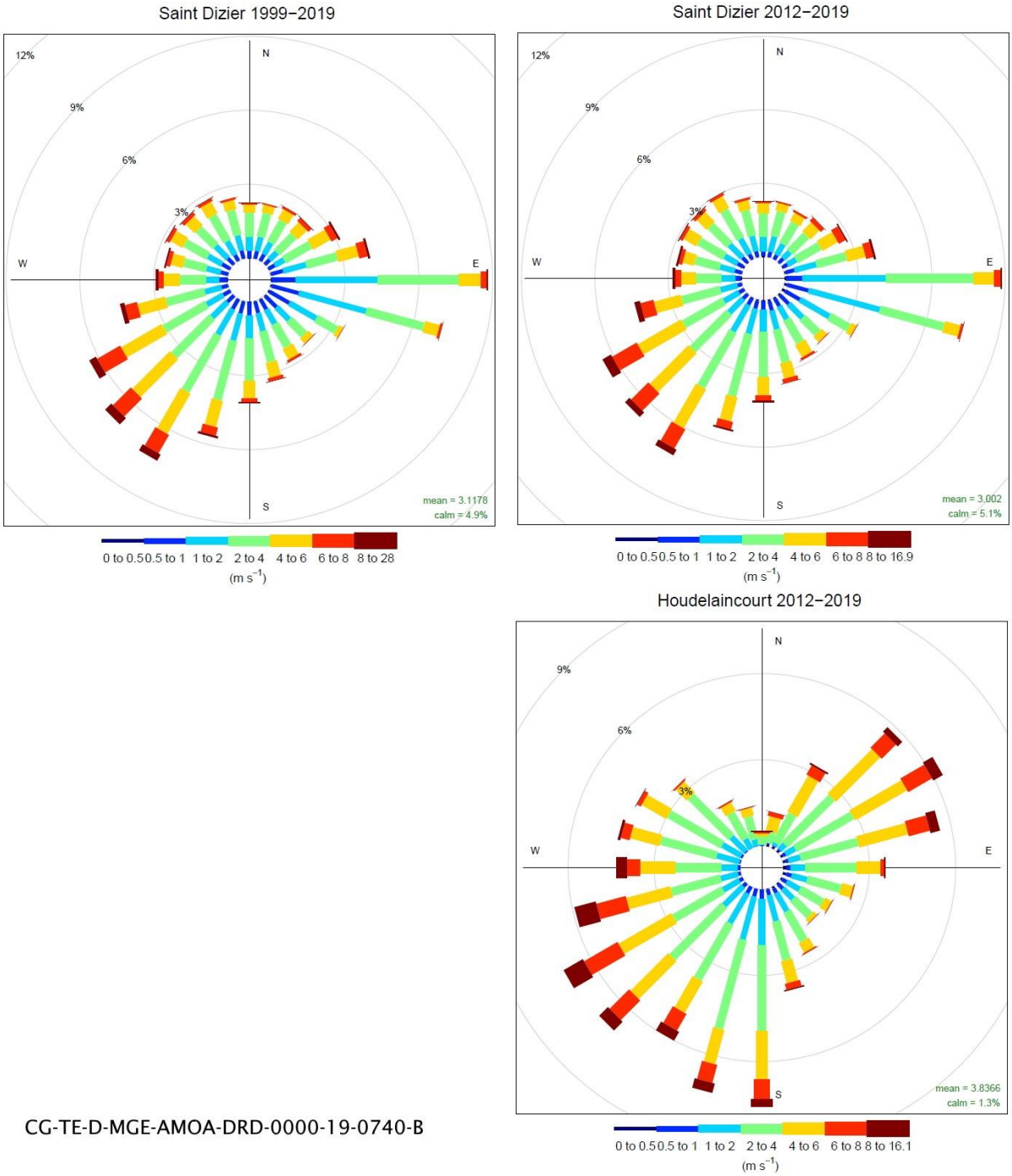
En revanche des phénomènes locaux vont se superposer à ces caractéristiques grandes échelles. Pour illustrer ces effets locaux l'analyse est complétée par les régimes de vent relevés à la station de Houdelaincourt sur la période 2012-2019.

NB : les stations de Blécourt et de Erneville-aux-Bois disposent également de mesures de vent mais sur des périodes différentes (Blécourt débute en 2005 tandis que Erneville-aux-Bois prend fin en 2014) et ne sont donc pas reprises dans le présent rapport : les principales caractéristiques de leurs roses des vents sur des périodes similaires sont cohérentes avec celles présentées ci-après.

La figure 3-7 illustre les fréquences d'occurrence des régimes de vent classées par vitesse de vent et par direction à la station de Saint-Dizier sur la période 1999-2019 et aux stations de Saint-Dizier et Houdelaincourt sur la période 2012–2019.

[10] L'absence de donnée dans ce tableau pour les mois de février et de décembre correspond à des manques de données ce qui n'a pas permis d'établir la moyenne.

[11] La hauteur de neige tombée en 24 heures et cumulée sur un mois a été mesurée entre décembre 2004 et janvier 2017. Néanmoins des données sont manquantes sur plusieurs années ce qui ne permet, par exemple pas de disposer du nombre de jours neigeux en février. Les cumuls mensuels et annuels sont donc sujets à caution et doivent être considérés avec précaution. Les données pour la période 2007-2016 ont été utilisées pour définir les chiffres du présent rapport car ce sont les années les plus complètes.



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

Figure 3-7 *Roses des vents par classe de vitesse à la station de Saint-Dizier sur la période 1999-2019 (en haut à gauche), 2012-2019 (en haut à droite) et à la station de Houdelaincourt sur la période 2012-2019 (en bas à droite)*

À Saint-Dizier, sur la période 1999-2019, la vitesse moyenne des vents à 10 m par rapport au sol est de 3,12 $m.s^{-1}$. Le pourcentage de vents calmes (inférieur à 1 $m.s^{-1}$) est faible. Ils représentent 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 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°E et 260°E) représentant 32,2 % des occurrences et associé à des vents bien établis (4 $m.s^{-1}$ en moyenne) ;
- un régime d'est (entre 60°E et 120°E) 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 $m.s^{-1}$.

La rafale maximale de vent enregistrée à Saint-Dizier sur la période allant du 1er janvier 1981 au 1er septembre 2020 a atteint 44 $m.s^{-1}$ (soit près de 160 $km.h^{-1}$) a eu lieu lors de la tempête du 26 décembre 1999.

Sur la période 2012-2019, les vents moyens sont plus forts (3,8 $m.s^{-1}$) à Houdelaincourt qu'à Saint-Dizier (3 $m.s^{-1}$). Le nombre de situations de vent calme est également beaucoup plus faible à Houdelaincourt (4 %) qu'à Saint-Dizier (12,4 %).

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.

3.2.4 Les tornades

Parmi les phénomènes de vent extrêmes, les tornades occupent une place particulière car ce sont des phénomènes rares et de petites échelles mais qui occasionnent des dégâts importants. Les statistiques précédentes du chapitre 3.2.3 du présent volume ne concernent donc pas ce phénomène extrême.

Une tornade est un tourbillon de vents violents se développant sous la base d'un nuage d'orage et se prolongeant vers la surface terrestre. Il s'agit d'un phénomène assez bref et très localisé. Les plus fortes tornades sont générées au sein de cellules orageuses très violentes. Leur diamètre varie de quelques dizaines de mètres à quelques kilomètres, leur durée de vie de quelques minutes à plus de deux heures, leur trajectoire de quelques centaines de mètres à plus de 100 km. Les tornades se déplacent en moyenne à 50 km/h, mais, dans certains cas, elles dépassent 100 km/h.

Ce phénomène n'est quasiment jamais observé par les réseaux d'observation météorologique et est très peu prévisible. Le plus souvent, la trajectoire et la vitesse maximale des vents dans une tornade sont estimées en constatant les dégâts occasionnés. En effet, les instruments de mesure se retrouvent rarement sur la trajectoire du phénomène et, s'ils le sont, ils sont détruits. Il n'existe donc pas de données météorologiques quantitatives permettant une description climatologique du phénomène.

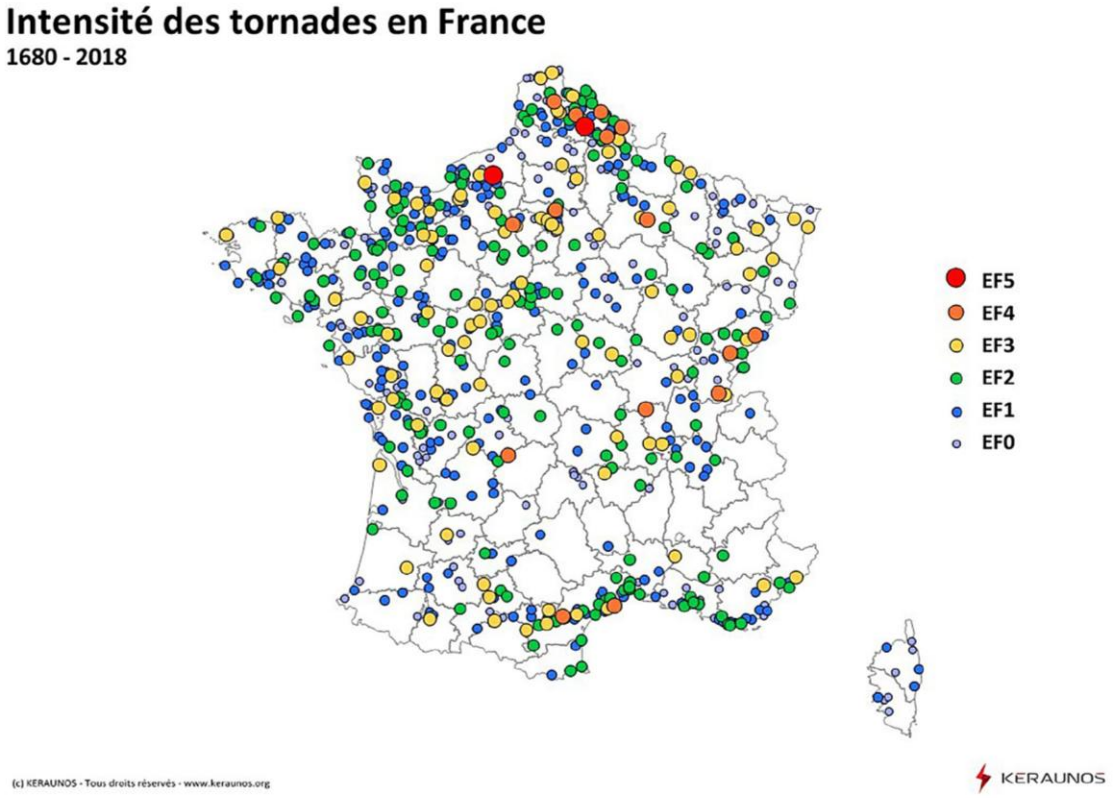
L'échelle Fujita, introduite en 1971, classe l'intensité des tornades en fonction des dégâts causés de F0 (légers dégâts) à F5 (dégâts incroyables). Une nouvelle échelle de Fujita « améliorée » a été mise en place en 2007. Cette échelle utilise également six catégories, de EF0 à EF5, avec des intervalles 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 3-8 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[12] ;
- quatorze tornades d'intensité EF4[13], 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.



CG-TE-D-MGE-AMOA-DRD-0000-21-0132-A

Figure 3-8 *Carte des tornades ayant eu lieu en France entre 1680 et 2018 recensées et validées par l'observatoire Keraunos. Source : Keraunos*

[12] Tornade EF5 : le 24 juin 1967 à Palluel dans le Pas-de-Calais et le 19 août 1845 à Montville en Seine-Maritime
[13] La tornade d'intensité EF4 la plus récente a été observée le 3 août 2008 à Hautmont dans le département du nord

3.2.5 L'hygrométrie

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 3-16).

Tableau 3-16 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.

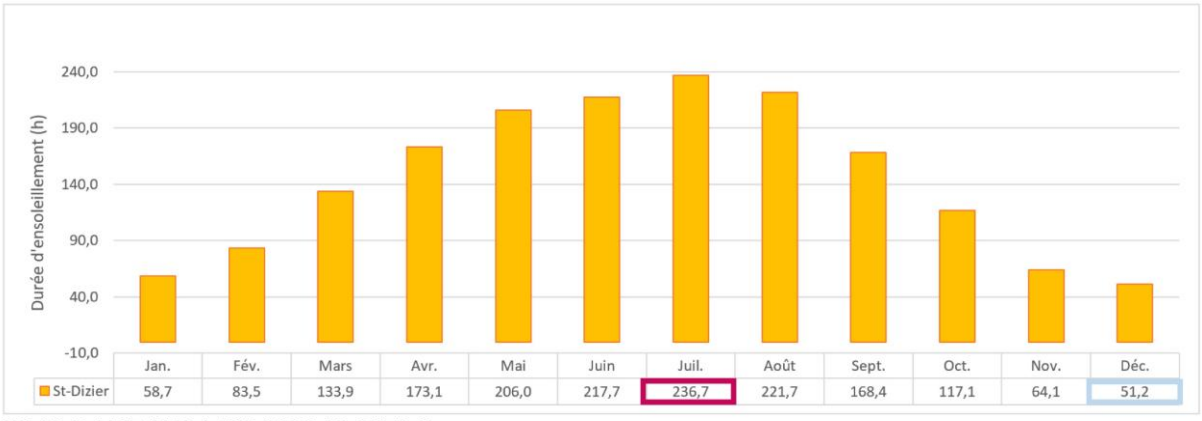
Sur la période 2012-2019, elle a été relevée à 76 % à Saint-Dizier et à 80 % à Houdelaincourt.

3.2.6 La durée d'ensoleillement

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 3-9). 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 3-10).

Pour mémoire, 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).



CG-00-D-MGE-AMOA-ESE-0000-19-0379-C

Figure 3-9 Durées d'ensoleillement moyen (en heures) à Saint-Dizier (1980-2019)



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

Figure 3-10 Durées d'ensoleillement moyen (en heures) à Houdelaincourt (2012-2020)

3.2.7 L'évapotranspiration

L'évapotranspiration potentielle, calculée à la station météorologique de 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[14].

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).

L'évapotranspiration pour la zone d'implantation de l'INB est donc attendue a environ 800 mm.an^{-1} soit environ 2 mm. j^{-1} avec une variation minima/maxima se situant entre 0,5 et 4,5 mm.j^{-1}.

[14] 764 mm.an^{-1} considéré dans les études après-fermeture (cf. Volume 8 du présent rapport) sur la période 2012-2017.

Synthèse des conditions météorologiques dans le secteur Meuse/Haute-Marne:

- **température**

  La température moyenne annuelle de la zone est comprise entre 9 °C et 11,5 °C. Le cycle annuel présente une amplitude de 17 °C à 18 °C. Enfin l'amplitude thermique journalière moyenne atteint 11 °C en été contre 5 °C en hiver. La température la plus élevée/basse enregistrée a atteint 40 °C/-22 °C.

- **précipitations**

  Le cumul annuel de précipitations est compris entre 630 mm et 1 175 mm avec une moyenne de 900 mm annuel sur 140 jours pluvieux dont 28 jours avec plus de 10 mm de cumul journalier. Ces précipitations sont réparties tout au long de l'année. La période la plus humide est la fin de l'automne et le début de l'hiver tandis que les mois les plus secs sont au printemps. Un record de cumul journalier 100 mm a été enregistré.

  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 mars avec une moyenne de 4,4 jours de neige par mois en janvier.

  Les épisodes de brouillard apparaissent en automne et hiver avec cinq à six jours par mois en moyenne.

- **vent**

  Deux régimes de vents dominent dans cette région des vents d'est/nord-est et des vents de sud-ouest/sud. La vitesse moyenne des vents sur le plateau est d'environ 3,8 $m.s^{-1}$. Le nombre de situations de vent calme est faible <5 %. Les vents les plus forts sont rencontrés dans les régimes de sud-sud-ouest. Le vent moyen le plus élevé a atteint 28 $m.s^{-1}$ tandis que la rafale maximale de vent enregistrée est de 44 $m.s^{-1}$ pendant la tempête de décembre 1999.

- **tornade**

  Dans un rayon de 50 km autour de l'INB, seules des tornades d'intensité EF2 (et EF1) ont été rencontrées. Deux évènements de ce type ont été recensés à une vingtaine et une trentaine de kilomètres sur la période 1680 – 2018 considérée par l'observatoire Keraunos. Vis-à-vis des tornades d'intensité EF3 et EF4, un évènement de ce type s'est produit respectivement à 70 km et 90 km de la zone d'implantation de l'INB. Concernant les tornades d'intensité EF5, aucune n'a été observée dans la région Grand Est.

- **hygrométrie**

  La moyenne des humidités relatives mensuelles sur la période 1980-2019 varie entre 70 % en juillet et 87 % en novembre. La moyenne annuelle est de 78 %.

- **durée d'ensoleillement**

  La durée d'ensoleillement est en moyenne de 55 heures en décembre à 240 heures en juillet, pour une durée annuelle moyenne de 1 764 heures.

- **évapotranspiration**

  L'évapotranspiration pour la zone d'implantation de l'INB est attendue a environ 800 $mm.an^{-1}$ soit environ 2 mm. j^{-1} avec une variation minima/maxima se situant entre 0,5 et 4,5 $mm.j^{-1}$.

3.3 L'évolution prévisible du climat sur la phase de fonctionnement

Ce chapitre traite de l'évolution climatique attendue durant les prochains siècles couvrant la phase de fonctionnement et, par ailleurs, la phase de démantèlement, fermeture et surveillance.

Les perspectives en termes d'évolution climatique au-delà pour la période après-fermeture long terme, c'est-à-dire sur les prochains millénaires et les dizaines voire centaines de millénaires suivants, sont présentées dans le cadre du volume 7 du présent rapport en tant que données d'entrée nécessaires pour les évaluations de sûreté après-fermeture.

3.3.1 Le contexte

L'évolution du climat dans le secteur Meuse/Haute-Marne, depuis la mise en place, il y a environ 900 000 ans, des cycles climatiques de 100 ka, a été marquée par la succession de périodes tempérées de type interglaciaire et de périodes froides, de type boréal (avec gel saisonnier) et de type périglaciaire (toundra, avec mise en place de pergélisols continus avec coins isolés ou coins de sol).

Le climat tempéré actuel n'est extrapolable dans le futur que sur une durée limitée ne représentant que tout au plus 20 % d'un cycle, dans l'hypothèse d'une évolution naturelle du climat. Cependant, le facteur majeur pouvant intervenir pour modifier l'évolution du climat dans le futur est la modification de la concentration en gaz à effet de serre dans l'atmosphère, du fait de l'activité anthropique, notamment avec le déstockage massif du sous-sol de carbone fossile, sous forme de CO_2 dans l'atmosphère.

La figure 3-11 présente la classification des différentes natures de climats, classification dite de Køppen-Trewartha, fondée sur les précipitations et les températures.

A tropical climates:	over 17°C in all months	Ar tropical rain Am tropical monsoonal rain Aw tropical summer rain As tropical winter rain
C subtropical climates:	over 9°C 8-12 months	Cr subtropical rain Cw subtropical summer rain Cs subtropical winter rain
D temperate climates:	over 9°C 4-7 months	DO temperate oceanic DC temperate continental
E subarctic climates:	over 9°C 1-3 months	EO subarctic oceanic EC subarctic continental
F polar climates:	over 9° no month	FT tundra FI ice
B dry climates:	evaporation > precipitation	BS steppe BW desert BM marine desert

CG-TE-D-MGE-AMOA-CM0-0000-22-0003-A

Figure 3-11 *La classification de Køppen-Trewartha (fondée sur les précipitations et les températures)*

Deux scénarios climatiques encadrant les évolutions possibles sont retenus comme scénarios de référence :

- un scénario d'évolution climatique naturel (A4) ;
- un scénario d'évolution climatique perturbé par les activités anthropiques (B4).

Ces deux scénarios (A4 et B4) ont été établis sur la durée du prochain million d'années au pas de 1 000 ans dans le cadre du projet européen Bioclim, du fait de leur caractère « maximaliste », et non remis en cause par les travaux récents menés depuis par le GIEC pour les deux prochains siècles et par l'Andra pour un pas de temps de 1 000 ans.

3.3.2 Le scénario d'évolution naturelle du climat

Ce scénario, dit A4, prévoit, du fait des gaz à effet de serre déjà rejetés à ce jour, la poursuite de la période interglaciaire actuelle sur une durée de 50 000 ans, soit bien au-delà de la fermeture de l'INB.

Jusqu'à la fermeture, en considérant ce scénario, le climat local dans la région de Meuse/Haute-Marne devrait selon ce scénario rester de type tempéré, très proche du climat actuel, avec en variabilité l'occurrence d'événements centennale à millénaire (pluie, tempête…). Ce n'est qu'au-delà de 50 000 ans que l'entrée en période glaciaire se marquera dans la région.

3.3.3 Le scénario d'évolution perturbée du climat par les activités anthropiques

Ce scénario, dit B4, est établi en fonction d'une hypothèse estimée maximaliste sur les rejets de CO_2 au cours des 325 prochaines années (5 000 GT de carbone fossile, concentration en CO_2 = 1 635 ppm (BIOCLIM 5000)) et sur le cycle du CO_2 atmosphérique.

Selon ce scénario, le prochain millénaire est caractérisé par une hausse rapide des températures et des précipitations annuelles et une accentuation des contrastes saisonniers (étés secs, pluies concentrées en hiver). Un climat subtropical à pluie d'hiver de type Cs (cf. Classification de Køppen-Trewartha, Figure 3-11) est envisageable d'ici le prochain millénaire (cf. Figure 3-12 ci-après).

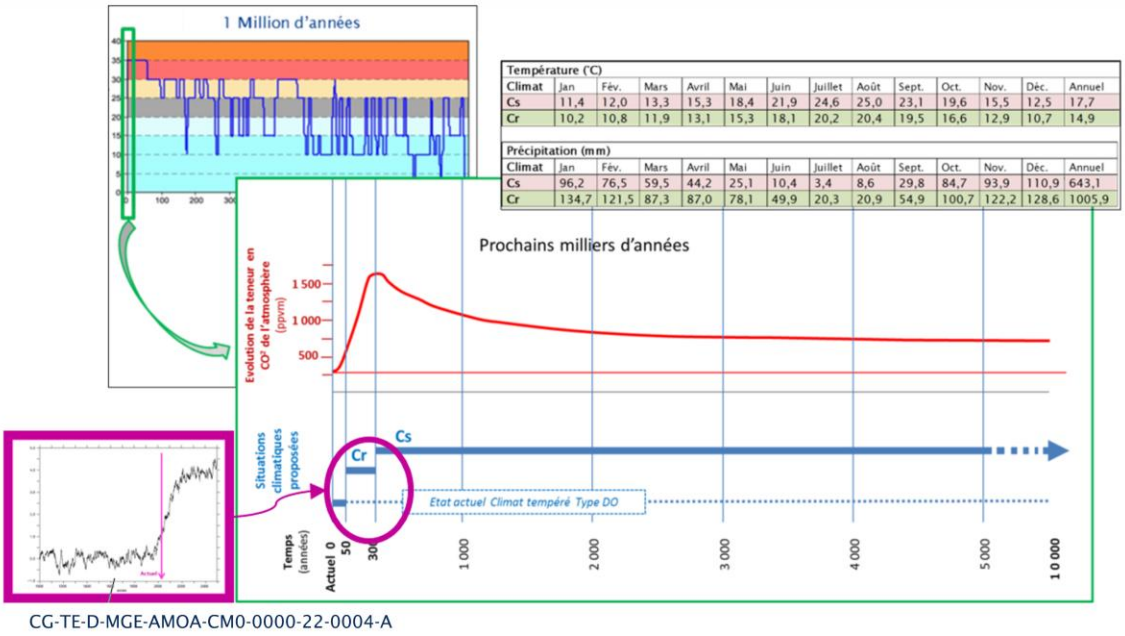


Figure 3-12 *Schéma de l'évolution du climat sur la Meuse/Haute-Marne dans le cas d'un scénario climatique global perturbé (scénario B4)*

Ce dernier persistera pendant encore 50 000 ans, avant l'installation d'un climat subtropical humide puis le retour très progressif de périodes de climat tempéré (type DO) et de climats froids (EO, EC et FT).

Le scénario établi au pas de temps de 1 000 ans pour des études géoprospectives portant sur le prochain million d'années, n'éclaire toutefois pas sur la dynamique du réchauffement climatique initial, notamment sur les premiers mille ans et plus particulièrement sur la phase de fonctionnement de l'INB.

Des travaux du Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE/CEA) ont porté sur la révision de la simulation de l'évolution du climat au cours des prochains 1 000 ans à partir du scénario BIOCLIM5000 avec la prise en compte d'une concentration en CO_2 d'entrée de 2 100 ppm. Traduit en termes bioclimatique, et selon la classification Køppen-Trewartha, le climat simulé du 20e siècle correspond à la catégorie DO (tempéré océanique) jusqu'à la fin du 22e siècle.

Selon ces travaux (cf. Figure 3-13) :

- au 23e et 24e siècle, le site passe en zone Cr (subtropical humide) ou Cs (subtropical sec) ;
- et même en zone BS (steppe) au 25e et 26e siècle ;
- vers la fin du 3e millénaire, le climat reviendrait dans sa catégorie initiale D0 (tempéré océanique).

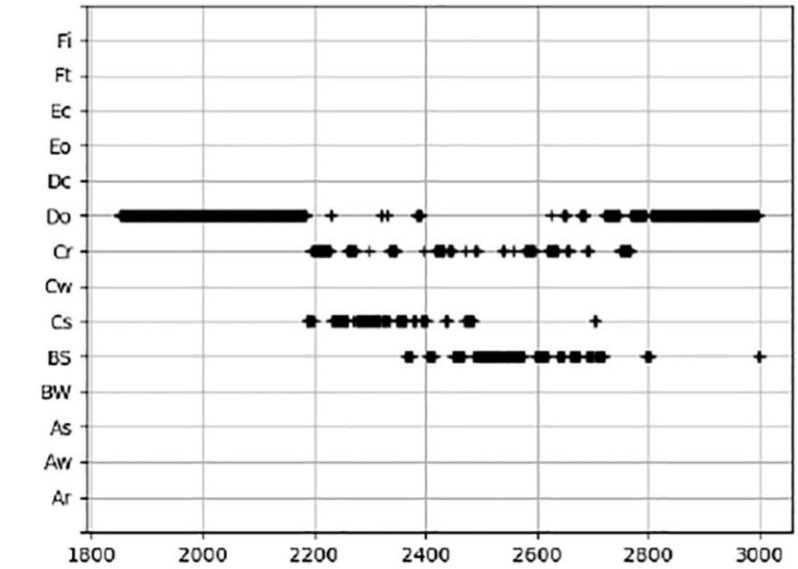


Figure 3-13 *Évolution de la classification bioclimatique avec les résultats du modèle iLOVECLIM-zoomé*

Néanmoins, il faut souligner que la sensibilité du modèle développé à des changements de concentration en CO_2 est assez faible en comparaison à ce qui est relevé avec d'autres modèles et les simulations similaires associées. Pour considérer ce point, des coefficients correcteurs ont été appliqués vis-à-vis de l'anomalie de température pour représenter différents niveaux de sensibilité climatique. Le choix d'un coefficient correcteur pour les précipitations n'a pas été retenu car il n'est pas systématiquement sous ou surévaluée sur la France (maintien de l'anomalie de précipitations calculée par iLOVECLIM-zoomé). Néanmoins, à la suite, afin de tester plus largement le domaine des possibles, l'effet obtenu par amplification de l'anomalie de précipitation a aussi été pris en compte.

Les résultats bioclimatiques ont alors été examinés d'une part sans appliquer, puis en appliquant, le même coefficient pour l'anomalie de précipitation.

Pour se situer dans la gamme de sensibilité de la plupart des modèles régionaux de climats sur la France et CMIP5 (GIEC), une anomalie N = 2 a été appliquée sur les températures, puis sur les températures et les précipitations. Ce facteur 2 correctif permet de se situer dans la gamme de sensibilité de la plupart des modèles de climat.

Ainsi, considérant la prise en compte de ces anomalies, selon la classification Køppen-Trewartha :

- lorsque seules les températures sont modifiées (cf. Figure 3-14), le site d'implantation de l'INB passe de la catégorie DO (tempéré océanique) vers les catégories Cr et Cs (subtropical humide ou sec) voire aussi en catégorie BS (steppe) dans la seconde moitié du millénaire ;
- lorsque les anomalies de précipitations sont elles aussi amplifiées d'un facteur 2 (cf. Figure 3-15), le climat bascule brutalement et définitivement en mode BS (steppe) dès la fin du 21e siècle.

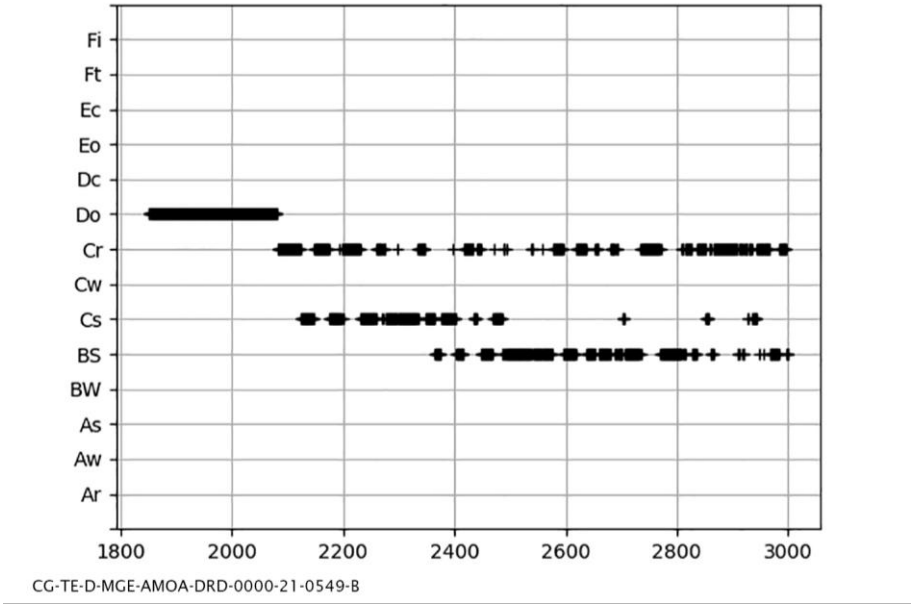


Figure 3-14 *Évolution de la classification bioclimatique avec les résultats du modèle iLOVECLIM-zoomé pour N = 2 pour les T°*

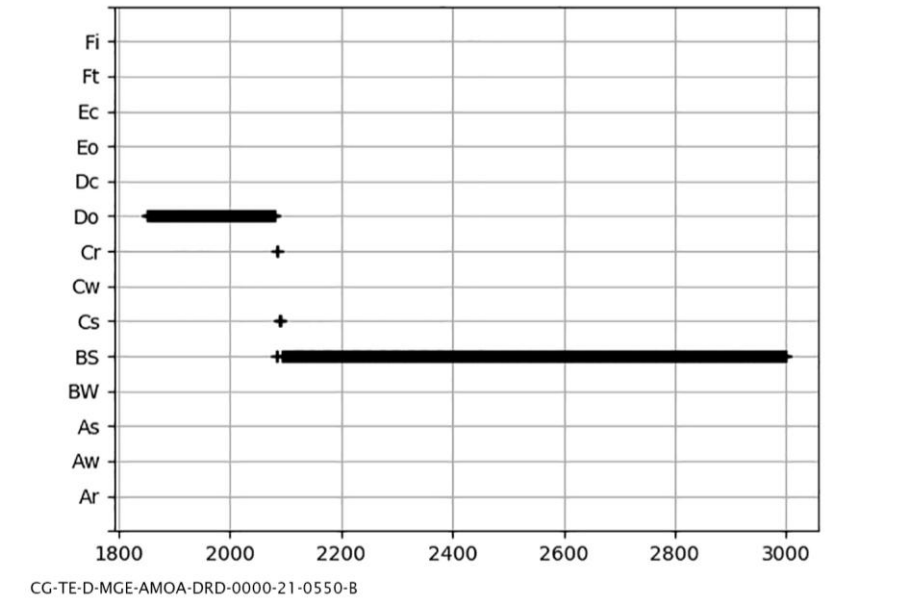


Figure 3-15 *Évolution de la classification bioclimatique avec les résultats du modèle iLOVECLIM-zoomé avec N = 2 pour les T° et P*

Les résultats de cette simulation confirment qu'avec les hypothèses retenues :

- dès le prochain siècle, par rapport à l'actuel, il est attendu un déficit des précipitations en été et en automne et une augmentation de ces dernières en hiver et au printemps ;
- sur les trois cents prochaines années, il y aurait une évolution rapide et de grande amplitude du climat avec :
  - ✓ une augmentation des températures moyennes de 5 °C sur l'ensemble des saisons avec des maxima :
    - de températures qui auraient lieu aux alentours de l'an 2 400 à grande échelle ;
    - de températures estivales plutôt situées vers l'an 2 300 ;
    - de températures hivernales plus tardives, vers l'an 2 600.
  - ✓ une augmentation de l'ordre de 50 % des précipitations.

4

La faune et la flore

4.1 Les aires considérées 106
4.2 La biodiversité 109
4.3 L'état radiologique du milieu naturel 116

L'objectif de ce chapitre 4 du présent volume est de présenter la faune et la flore autour du centre de stockage relevant des intérêts à protéger cités à l'article L. 593-1 du code de l'environnement eu égard à la présence de l'INB durant les phases de construction et d'exploitation puis la période de long terme après fermeture (cf. Volumes 8 et 9 du présent rapport).

Le contenu du présent chapitre s'appuie la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) qui présente de manière plus détaillée les données sur la faune et la flore autour de l'INB (1).

4.1 Les aires considérées

Pour présenter les données sur la faune et la flore (biodiversité) dans la zone d'implantation de l'INB et pour ses alentours, le présent chapitre s'appuie sur des aires d'études centrées sur le périmètre INB(1).

Il est entendu par :

- aire d'étude immédiate : l'aire correspondant à la zone d'implantation de l'INB augmentée d'une zone de 500 mètres de rayon ; pour tenir compte de certaines opérations du projet global Cigéo, cette aire intègre, avec aussi les 500 mètres de rayon, la liaison intersites, l'installation terminale embranchée (ITE) et le tracé de la future voie ferrée (ligne ferroviaire 027000) raccordant le terminal ferroviaire du centre au réseau SNCF ;
- aire d'étude éloignée : l'aire correspondant à une zone de 30 kilomètres de rayon centrée sur l'INB.

Le tableau 4-1 explicite plus précisément ces aires d'études qui peuvent différer de celles de l'étude d'impact qui tiennent compte du projet global Cigéo

La figure 4-1 permet de visualiser ces aires d'études sur le plan géographique en lien avec les limites des différentes communes des départements de la Meuse, de la Haute-Marne, des Vosges et, en moindre mesure, de la Meurthe et Moselle.

Tableau 4-1 *Description des aires d'études immédiates et éloignées retenues dans l'étude d'impact du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC)*

Aires d'étude	Description	Principales caractéristiques et délimitation
Immédiate	Aire d'étude du projet global Cigéo centrée sur l'emprise envisagée pour les installations du projet global Cigéo dont l'implantation ou ses variantes sont arrêtées, augmentée d'une zone de 500 m de part et d'autre. Elle inclut le périmètre opérationnel en phase travaux et en phase de fonctionnement.	Cette aire d'étude correspond à la zone susceptible d'être affectée par les effets d'emprise des ouvrages et installations ainsi que par les perturbations liées aux travaux et activités dans la zone d'intervention potentielle et à sa proximité immédiate. Elle est utilisée pour acquérir une connaissance détaillée du milieu grâce à des inventaires de terrain (habitats naturels, faune et flore).
Éloignée	Aire d'étude du projet global qui correspond à un cercle de 30 km de rayon centré sur le centre de stockage Cigéo. Elle intègre l'ensemble des opérations du projet global Cigéo.	Cette aire d'étude est définie de manière à intégrer l'ensemble des effets potentiels du projet global Cigéo notamment sur les espèces à domaine vital important comme les oiseaux et les chauves-souris. La distance de 30 km est justifiée dans la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (1). Elle est axée sur le centre de stockage Cigéo qui est l'opération qui présente les incidences les plus fortes sur ces espèces. Elle est utilisée pour recenser les enjeux et incidences les plus étendus liés aux zonages réglementaires ou d'inventaires du milieu naturel et étudier l'écologie de certaines espèces à grands déplacements (oiseaux, mammifères terrestres, chiroptères). C'est la zone d'influence du projet vis-à-vis des sites Natura 2000. Cette aire d'étude permet aussi d'identifier les zones à enjeux à éviter lors du choix des variantes d'adduction d'eau.

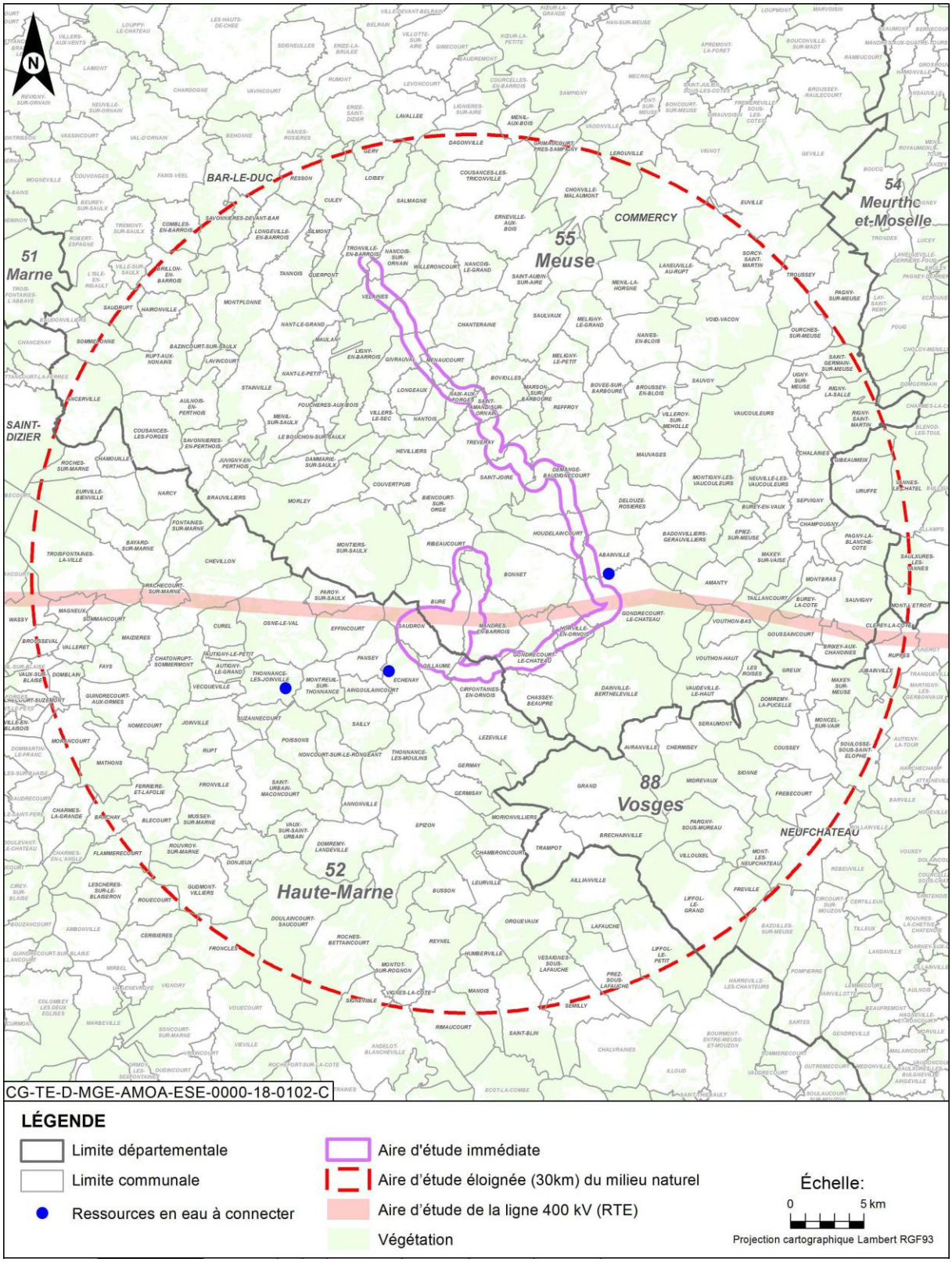


Figure 4-1 *Visualisation des aires d'études immédiates et éloignées, ainsi que, pour mémoire celle de la ligne 400 kV, considérées dans la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (1)*

4.2 La biodiversité

En propos liminaire, l'aire d'étude éloignée est située au cœur de la région Grand Est abritant de nombreux types de paysages différents : montagnes (Massif des Vosges), côtes, plaines lorraines et alsaciennes, ainsi qu'une multitude de plateaux et de cours d'eau. Cette mosaïque de paysages est favorable à la richesse spécifique de la région.

4.2.1 Les éléments généraux

La biodiversité en région Grand Est est en effet bien représentée, avec 579 espèces d'oiseaux, 31 espèces d'amphibiens, 28 espèces de reptiles et 34 espèces de chiroptères recensées en 2018. À elle seule, l'ex-région Alsace compte plus de 2 400 espèces de flore vasculaire, soit près de 40 % de la flore nationale totale.

La région Grand Est possède également ses espèces emblématiques, telles que la Grue cendrée (*Grus grus*), la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*), le Butor étoilé (*Botaurus stellaris*), ou encore le Grand Hamster d'Alsace (*Cricetus cricetus*). Un Plan national d'actions sur 10 ans est même mis en place depuis 2019 pour ce dernier.

La tendance globale des espèces au sein de la région est au déclin, s'alignant ainsi sur le contexte national. Certaines populations d'espèces ont fortement régressé. C'est par exemple le cas du Milan royal (*Milvus milvus*) qui a perdu 90 % de ses effectifs en 15 ans dans l'ex-région Champagne-Ardenne. À l'échelle des taxons, 17 % des taxons évalués dans la Liste Rouge de la flore vascularisée de Lorraine sont menacés. Ce chiffre atteint plus d'un quart des espèces pour la même liste alsacienne (28,4 %). La faune n'est pas épargnée par l'érosion de la biodiversité : 33 % des odonates, 16,7 % des mammifères, 22,4 % des mollusques, 40 % des oiseaux, 31,7 % des orthoptères et 25,7 % des poissons sont inscrits sur les listes rouges alsaciennes de l'Union internationale pour la conservation de la nature (l'UICN).

À l'image de l'ensemble de la région Grand Est, l'aire d'étude éloignée du projet global comporte des activités anthropiques ayant des incidences sur la biodiversité : intensification des pratiques agricoles, plantations d'essences exotiques, chasse et pêche de loisir ou encore retournement de prairies. Ces pratiques participent à l'érosion de la biodiversité à un niveau plus local. L'Atlas régional de Lorraine en 2007 (10) mentionne par exemple le Blongios nain (*Ixobrychus minutus*) seulement du côté du bois de la grande enceinte, alors que son aire de répartition s'étendait jusque dans la vallée de la Meuse auparavant.

4.2.2 Les zonages environnementaux : espaces naturels protégés ou remarquables

En termes de zonages environnementaux, le système français est très riche. Il intègre, en effet, des concepts différents selon que le besoin porte sur un objectif global d'état de conservation d'habitats des espèces (Natura 2000), sur des approches stationnelles espèces (APPB), sur le référencement de lieux à haute plus-value (réserves) ou encore sur une approche globale de développement durable (parc naturel régional).

Certains, comme les zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF), sont des zones d'inventaires concentrant des espèces et leurs habitats dont la valeur est reconnue sans être forcément protégées. D'autres, comme les zones Natura 2000 soumettent les projets à des autorisations spécifiques. D'autres encore, comme les espaces naturels sensibles (ENS), facilitent les politiques de gestion innovantes de la biodiversité et l'acquisition par les pouvoirs publics des parcelles les plus riches ou les plus en danger.

La définition de chacun des zonages est précisée ci-dessous :

- **les zonages environnementaux** réglementaires correspondent à des sites au titre de la législation ou de la réglementation en vigueur, dans lesquels les interventions dans le milieu naturel peuvent être contraintes. Ce sont les sites objets d'arrêtés préfectoraux de protection de biotope, des sites du réseau européen Natura 2000, les réserves naturelles nationales et régionales… ;
- **les zonages d'inventaires du patrimoine naturel,** élaborés à titre d'avertissement pour les aménageurs et qui n'ont pas de valeur d'opposabilité. On trouve dans cette catégorie les zones importantes pour la conservation des oiseaux (ZICO) et les zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF de type II - grands ensembles écologiquement cohérents - et ZNIEFF de type I - secteurs de plus faible surface au patrimoine naturel remarquable) ;
- **les zonages fonciers,** correspondant par exemple à des territoires d'expérimentation du développement durable (ex. : parcs naturels régionaux – PNR) ou à des secteurs gérés en faveur de la biodiversité (Espaces Naturels Sensibles, sites du Conservatoire du Littoral et des Rivages Lacustres…).

4.2.3 La distribution des zones environnementales

Tous statuts confondus, les aires protégées françaises couvrent environ 29,5 % des terres et 23,5 % des eaux françaises (données site Ministère de la transition écologique et solidaire). Pour la région Grand Est, les zones Natura 2000 représente 10,7 % du territoire de la grande région avec une part importante d'espaces boisés.

D'après l'INPN, 2 175 ZNIEFF de type I (secteurs de grand intérêt pour la biodiversité) sont répertoriées sur la région Grand Est soit une surface totale de 10,4 % par rapport à la superficie régionale. Les ZNIEFF de type II, qui forment de grands secteurs faiblement artificialisés et pouvant contenir les ZNIEFF I, sont au nombre plus réduit de 192 mais couvrent en revanche 26 % du territoire régional.

La superposition des différents zonages montre la richesse de deux grands territoires dans la région Grand Est : la Champagne humide et le Massif des Vosges, l'aire d'étude éloignée ne fait toutefois pas partie de ces territoires (cf. Figure 4-2). La figure suivante (cf. Figure 4-3) montre que la zone d'implantation de l'INB, ainsi que son aire d'étude éloignée, ne présentent toutefois pas de zones d'intérêt écologique marqué.

Pour la zone d'implantation, seule une ZNIEFF de type 1 est relevée en l'occurrence le bois de la Fosse Lemaire situé sur la commune de Mandres-en-Barrois qui intègre le bois Lejuc où la zone puits est prévue d'être implantée.

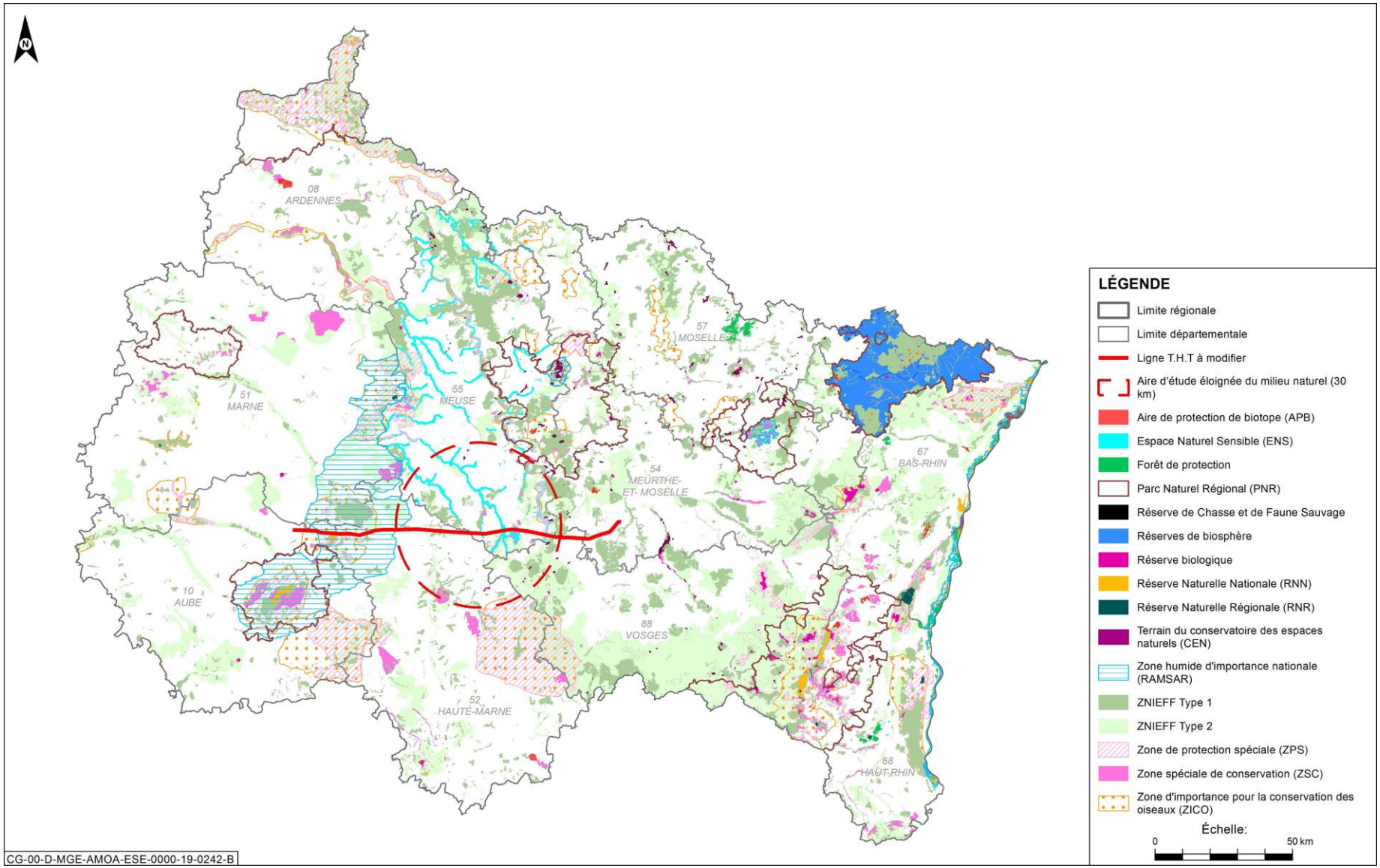


Figure 4-2 Zonages environnementaux en région Grand Est

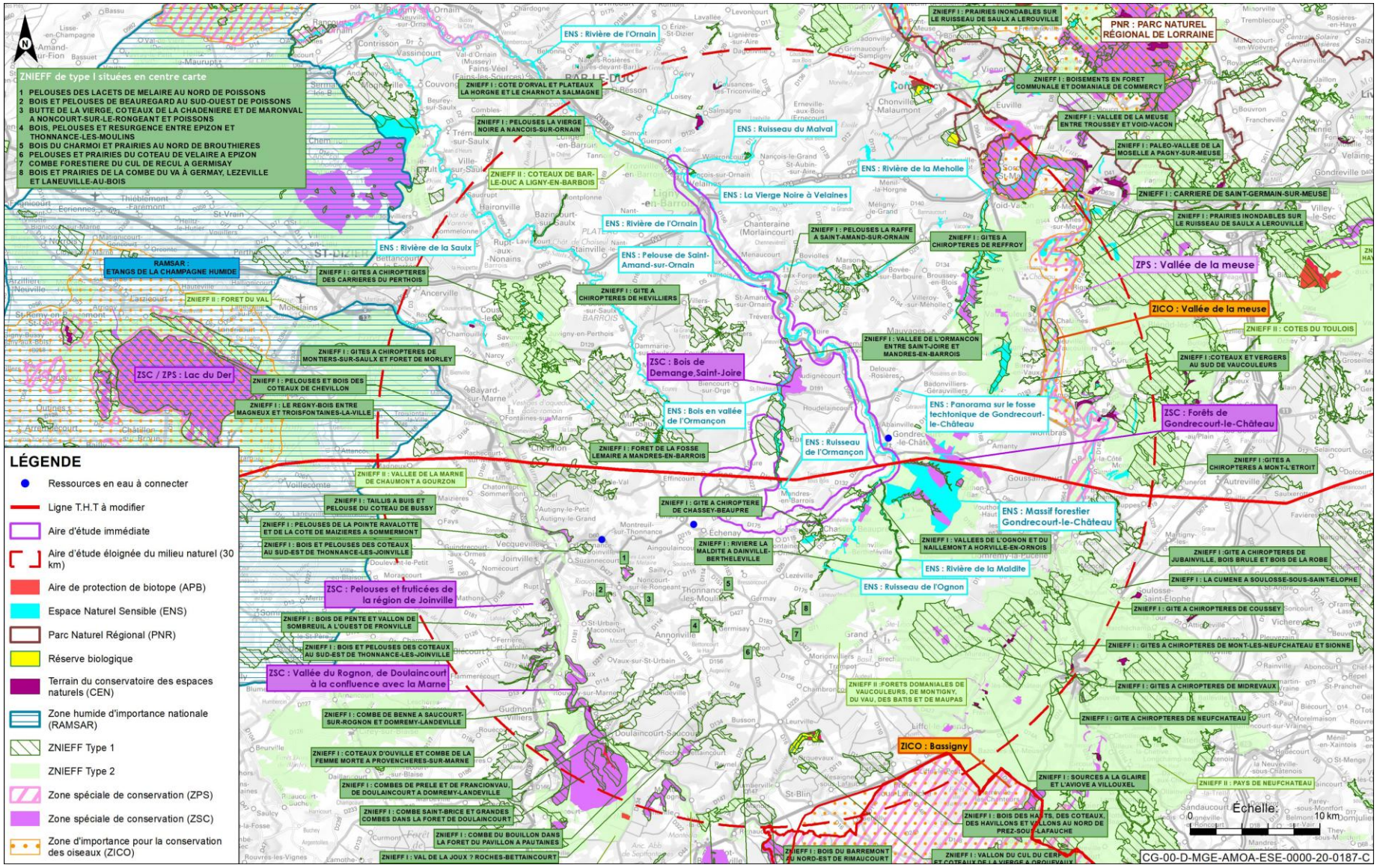


Figure 4-3 Zonages environnementaux dans l'aire d'étude éloignée

4.2.4 Les principaux enjeux de biodiversité

4.2.4.1 La zone d'implantation de l'INB

Pour la zone d'implantation de l'INB Cigéo, comme indiqué ci-avant, seule une ZNIEFF de type 1 est relevée et correspond au bois Lejuc. En 2016, le bois Lejuc a, en effet, fait l'objet d'un classement en ZNIEFF de type 1 car intégré dans une nouvelle ZNIEFF, d'emprise plus large, dénommée « Forêt de la Fosse Lemaire à Mandres-en-Barrois ».

Dans le cas du bois Lejuc, c'est la richesse des observations disponibles, issues des inventaires réalisés par l'Andra, qui justifie le classement plutôt que la présence exceptionnelle d'espèces sur le site. Comparativement aux forêts et bois de l'aire d'étude éloignée, il ne recèle pas d'habitat ou d'espèce spécifique et ne présente pas une richesse écologique particulière.

4.2.4.2 L'aire d'étude éloignée

Au-delà, de la zone d'implantation, dans l'aire d'étude éloignée, peu de sites présentent un intérêt environnemental. Des secteurs de petites tailles sont toutefois relevés et constituent des sites intéressants notamment pour les chiroptères, enjeu faunistique principal identifié sur l'aire d'étude immédiate. Il s'agit (cf. Figure 4-3) :

- **des Carrières du Perthois**, elles sont situées à moins de 20 km à l'ouest de la zone puits et comportent des gîtes à Chiroptères particulièrement remarquables, une ZNIEFF de type I y a été créée (ZNIEFF 410015808 – Gites à chiroptères des carrières du Perthois).

  Elle n'abrite pas moins de 30 espèces déterminantes (dont 13 de chiroptères) sur 2 130 hectares ; on y retrouve une nouvelle fois le Petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*) et le Grand murin (*Myotis myotis*), enjeux importants sur l'aire d'étude immédiate. Le Tarier pâtre (*Saxicola torquata*), espèce à enjeu identifiée sur l'aire d'étude immédiate est également bien présente sur ces carrières. Cette espèce est bien distribuée sur l'aire d'étude éloignée, à l'image de sa distribution régionale ;
- d'un autre secteur assez proche, à 10 km au sud de l'ITE où des espèces observées ont été recensées : **les gîtes à Chiroptères de Midrevaux** (ZNIEFF 410030261- Gites à chiroptères de Midrevaux) ;

  Ces gîtes se caractérisent par des plans d'eau entourés par des forêts caducifoliées où s'exprime un cortège riche de chauve-souris. Cette ZNIEFF abrite également l'Alyte accoucheur (*Alyte obstetricans* – Listé « En danger » sur la liste rouge d'Alsace) qui s'y reproduit, ce secteur est un enjeu fort pour cette espèce ;
- au nord de la zone puits, les **gîtes à Chiroptères de Reffroy** constituent des zones à fort enjeu en Chiroptères et sont identifiés ZNIEFF de type I (ZNIEFF 410001837 – Gites à chiroptères de Reffroy).

  Elle couvre 981 hectares et abrite les principales espèces de Chiroptères à enjeu fort déjà énoncées plus haut et contactées sur l'aire d'étude immédiate. La ZNIEFF est constituée d'une mosaïque de milieux ouverts (pelouses, champs et pâturages), semi-ouverts (fourrés sur sol fertile), et fermés (boisements mixtes en majorité).

À une distance très éloignée de la zone d'implantation de l'INB Cigéo, plusieurs grands secteurs proches de la limite de l'aire d'étude éloignée abritent, en revanche, une biodiversité à enjeu, avec un certain nombre d'espèces patrimoniales ou protégées. Les sites concernés, s'étendant sur de grandes surfaces sont les suivants (cf. Figure 4-3) :

- **le secteur du Bassigny** : il est situé à une trentaine de kilomètres au sud-est de l'ITE, ce site est notamment occupé par une ZNIEFF de type 2 de près de 12 000 hectares (ZNIEFF 210020224 - Prairies et bois du Bassigny et de la vallée de la Meuse entre Harréville-les-Chanteurs et Meuvy) et d'une ZPS de plus de 78 000 hectares (FR2112011 – Bassigny) ;

  Le site est constitué essentiellement de pâtures et de chênaies-hêtraies.

  La diversité des habitats naturels présents occupant une petite surface (sources d'eau, pelouses, prairies de fauche, forêts de résineux, marais…) participe grandement à la richesse spécifique du

site. Le Bassigny est notamment d'un grand intérêt pour son cortège avifaunistique, avec 125 espèces d'oiseaux recensées dont la Huppe fasciée (*Upupa epops*), le Milan royal (*Milvus milvus*), et la Pie-grièche grise (*Lanius excubitor*), ces trois espèces ayant particulièrement régressé sur le territoire ces 30 dernières années. Les atlas régionaux de 2017 disponibles sur le site Faune-Lorraine et Faune-Champagne-Ardenne mentionnent la présence probable ou certaine du Milan noir sur toute la partie Sud-Est de la zone d'étude éloignée. Ces mêmes atlas révèlent la présence de la Pie-grièche grise à l'Est de la ZNIEFF 210020224 citée ci-dessus, et de la Huppe fasciée sur une grande partie du sud-est de l'aire d'étude éloignée. Des observations ponctuelles pour ces espèces ont également été réalisées du côté de Commercy, à une vingtaine de kilomètres à l'est du centre de stockage Cigéo. Une colonie de reproduction de Petits rhinolophes *(Rhinolophus hipposideros*) est également à signaler dans la mairie de Bourmont. Côté flore, le Vulpin utriculé *(Alopecurus rendlei*) ou l'Oenanthe à feuilles de peucédan (*Oenanthe peucedanifolia*) figurent aussi parmi les espèces à enjeu dans ce secteur ;

- **la vallée de la Meuse :** elle traverse tout le département du même nom selon un axe nord-sud, en suivant le cours d'eau. Elle passe à 15 km à l'est de l'aire d'étude immédiate de l'ITE et de la ligne ferroviaire 027000 et se prolonge jusqu'au nord de l'aire d'étude éloignée, cette vallée présente une Zone de protection spéciale (ZPS), une ZNIEFF de type II (ZNIEFF 410010381 – Vallée de la Meuse) et une zone d'importance pour la conservation des oiseaux (ZICO).

  La ZNIEFF s'étend sur toute la vallée. Cette vallée se caractérise par une mosaïque de milieux naturels et d'une occupation du sol marqué par les activités anthropiques. Elle abrite 186 espèces et quatre habitats naturels déterminants. Il est également à noter la présence du gîte à chiroptères de Saint-Mihiel (1 787 hectares), sur lequel 12 espèces de chauve-souris ont été observées. On retrouve notamment le Petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*), le Grand rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*) et le Grand murin (*Myotis myotis*). La première espèce est également connue à d'autres emplacements sur l'aire d'étude éloignée. Des sites établis de cohabitation avec le Grand Murin ont été repérés du côté de Germay et Lezéville, à 12 kilomètres au sud de l'aire d'étude immédiate. D'autres gîtes figurent également à quelques kilomètres à l'Est de ces deux communes, près de Joinville.

  Spécifiquement pour la zone de protection spéciale (ZPS) vallée de Meuse (FR4112008) s'étend sur une superficie d'environ 13 500 hectares. Ce site Natura 2000 comprend une grande variété de milieux aquatiques, de zones humides et même de pelouses calcaires sèches sur certains coteaux qui forment un important complexe. Les prairies constituent de vastes territoires de chasse et d'alimentation pour certains oiseaux (rapaces, échassiers, anatidés…) et sont également propices à la nidification, du râle des genêts par exemple. L'avifaune présente sur ce site est diversifiée, elle se compose notamment d'une trentaine d'espèces inscrites à l'annexe I de la « Directive Oiseaux » (11) ;

- **les Étangs d'Argonne** : en bordure de l'aire d'étude éloignée, ils sont situés à 35 km au Nord-Ouest de la zone puits, de nombreuses parcelles y ont été classées en zonages du patrimoine naturel, une ZPS de 14 250 hectares y a été créée (FR2112009 - Étangs d'Argonne) et plusieurs ZNIEFF de plusieurs milliers d'hectares figurent également à proximité des Étangs d'Argonne.

  Plus de la moitié de la surface y est constituée de boisements. Prairies améliorées, bas-marais, tourbières, et étangs complètent l'essentiel du secteur. L'avifaune est particulièrement bien représentée, avec plus de 130 espèces recensées, dont le Tarier des prés (*Saxicola rubreta*) ou la Sarcelle d'hiver (*Anas crecca*). Le Tarier des prés est distribué de manière plutôt homogène sur l'ensemble de l'aire d'étude éloignée et a été observé sur l'aire d'étude immédiate. La Sarcelle d'hiver, également observée sur la même emprise est également bien représentée sur l'aire d'étude éloignée. Des observations ont été faites par exemple à Saint-Dizier en 2017, à 16 km de l'aire d'étude immédiate du projet global, ou encore proche de Seraumont et Coussey à quelques kilomètres au sud-est du projet. Concernant la flore, des stations de Campanule cervicaire (*Campanula cervicaria*) ou de Grande douve (*Ranunculus lingua*) sont également observées sur les Étangs d'Argonne. Aucune de ces deux espèces n'a cependant été recensée sur l'aire d'étude immédiate.

D'autres données récentes (2017) issues des atlas régionaux montrent que des espèces à fort enjeu observées sur l'aire d'étude immédiate sont également bien connues en certains points de l'aire d'étude éloignée. C'est par exemple le cas de la Cigogne noire (*Ciconia nigra*), observée sur l'aire d'étude immédiate en halte migratoire. Des individus nicheurs pour cette même espèce ont été observés du côté de Brizeaux, en bordure nord-ouest de l'aire d'étude éloignée. Ce cas est loin d'être isolé. Le Pipit farlouse (*Anthus pratensis*) observé sur le même secteur de l'aire d'étude immédiate, est également indiqué comme nicheur probable près de Troussey, à moins de 30 km à l'est. Côté chiroptères, la Barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus*) a été observée du côté d'Epizon et Germay au sud de l'aire d'étude immédiate. Des observations de Murin à oreilles échancrées (*Myotis emarginatus*) ont de plus été réalisées aux alentours de Courcelles-sur-Blaise, à 31 km au sud-ouest de l'aire d'étude immédiate.

4.2.4.3 Au-delà de l'aire d'étude éloignée

Au-delà de l'aire d'étude éloignée, à environ 40 km à l'ouest de la zone d'implantation de l'INB, en limite des départements de la Haute-Marne, de l'Aube et de la Marne, il faut noter la présence de deux sites[15] à fort enjeu environnemental correspondants (cf. Partie très à gauche de la figure 4-3) :

- **au Lac du Der**, il s'agit d'un lac artificiel identifié ZSC correspondant à un espace naturel bien préservé qui est un réservoir très riche de biodiversité classé en site Natura 2000 (réf. Carte n° FR21100002 – Lac du Der).

  Il est constitué de 95 % d'eau douce stagnante, et de 5 % de boisements caducifoliés. Le site joue un rôle ornithologique fondamental et accueille en permanence 270 espèces d'oiseaux et 27 espèces migratrices hivernantes. La Grue cendrée (*Grus grus*) est une espèce emblématique de ce lac. Plusieurs espèces de chiroptères vivent sur ce lac, dont la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), et plusieurs Murins. Le site contient de surcroît des zones de nurseries pour le Grand Murin (*Myotis myotis*), également observé sur le lac ;
- **à l'Étang de la Horre,** il s'agit d'une réserve naturelle nationale (réf. carte n°FR3600149), cette réserve naturelle protège l'étang homonyme ainsi que l'étang Neuf et le massif boisé les séparant.

  Ce site de 415 ha abrite des milieux diversifiés (boisements plus ou moins humides, roselières, plans d'eau) qui permettent la coexistence d'un grand nombre d'espèces végétales (plus de 250 espèces déjà inventoriées), dont certaines sont protégées comme la Vigne sauvage (*Vitis vinifera subsp. Sylvestris*), la Grande douve (*Ranunculus lingua*) et l'Epipactis pourpre (*Epipactis atrorubens*) - et de nombreuses espèces animales telles que les chauves-souris, les libellules, les papillons ou encore les amphibiens. Le site revêt également une importance capitale pour l'avifaune. À noter la présence d'un couple de Pygargue à queue blanche (*Haliaeetus albicilla*). Il s'agit du second couple nicheur en France (un couple en Lorraine et un couple en Champagne-Ardenne).

[15] Dans la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (1), ces deux sites sont identifiés comme étant à proximité de la ligne électrique 400 kV.

Synthèse des éléments de biodiversité de l'aire d'étude éloignée

La région Grand Est est un territoire abritant de nombreux types de paysages différents : montagnes (Massif des Vosges), côtes, plaines lorraines et alsaciennes, ainsi qu'une multitude de plateaux et de cours d'eau. Cette mosaïque de paysages est favorable à la richesse de la biodiversité dans la région. Toutefois, la tendance globale des espèces au sein du territoire est au déclin, s'alignant ainsi sur le contexte national. Certaines populations d'espèces ont fortement régressé (exemple du Milan royal (*Milvus milvus*) qui a perdu 90 % de ses effectifs en 15 ans dans l'ex-région Champagne-Ardenne).

Pour la zone d'implantation de l'INB Cigéo, le bois Lejuc, intégré dans la « Forêt de la Fosse Lemaire à Mandres-en-Barrois » fait l'objet d'un classement en ZNIEFF de type 1. Néanmoins, c'est la richesse des observations disponibles, issues des inventaires réalisés par l'Andra, qui justifie le classement et non la présence exceptionnelle d'espèces sur le site. Ce bois ne recèle, en effet, pas d'habitat ou d'espèce spécifique et ne présente pas une richesse écologique particulière.

L'aire d'étude éloignée du milieu naturel abrite, en revanche, plusieurs foyers de concentration de la biodiversité, où vivent parfois un nombre conséquent d'espèces patrimoniales et/ou protégées de faune et de flore. Les sites concernés s'étendent sur de grandes surfaces mais ils sont relativement éloignés de l'emprise directe de l'INB Cigéo. Il s'agit du secteur du Bassigny, de la vallée de la Meuse (site Natura 2000) et des étangs d'Argonne.

D'autres secteurs d'intérêt environnemental (avec un enjeu moindre en termes de biodiversité), plus petits et parfois plus proches de la zone d'implantation du centre de stockage, ont aussi été relevés et constituent notamment des sites intéressants pour les chiroptères, enjeu faunistique principal identifié sur l'aire d'étude immédiate.

Ainsi, la plupart des zones à fort enjeu écologique à l'échelle régionale reste relativement éloignée de la zone d'implantation de l'INB Cigéo, l'aire d'étude éloignée associée n'intercepte pas directement des zonages environnementaux réglementaires (sites Natura 2000, arrêtés de protection biotope, etc.).

L'implantation de l'INB et, de manière plus générale, du projet global Cigéo, est, en conséquence, en grande majorité prévue sur des lieux où la biodiversité est ordinaire et où les espaces naturels n'ont pas de haute fonctionnalité écologique.

4.3 L'état radiologique du milieu naturel

La présence d'éléments radioactifs naturels ou artificiels dans notre environnement a pour conséquence l'exposition à la radioactivité des organismes naturels : la flore, la faune et les autres organismes vivants.

Pour rappel, il est désigné « 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 utilisant la radioactivité, monde médical…). Ce bruit de fond provient d'éléments radioactifs naturellement présents dans le milieu (^{40}K, ^{7}Be, ^{14}C, ^{210}Po…) ou ayant pour origine les essais nucléaires et accidents nucléaires (^{90}Sr, ^{137}Cs…).

Le bruit de fond radiologique du milieu naturel est appréhendé via le choix de bio-indicateurs basé sur :

- d'une part des espèces végétales ou animales susceptibles de concentrer les éléments (cas des mousses, des lichens) ou de rendre compte d'une radioactivité moyenne sur un secteur assez large (feuilles d'arbres, miel) ;
- d'autre part, des produits végétaux et animaux destinés à la consommation humaine ou faisant partie de la chaîne alimentaire. Deux critères sont alors importants à prendre en compte : le premier est la représentativité des productions locales et le deuxième l'importance dans la ration alimentaire humaine.

Des analyses radiologiques sur des végétaux (mousse, feuilles, herbe) sont réalisées annuellement par les équipes de l'Andra du Laboratoire souterrain et ceci depuis 2002 et ont été complétées en 2013 par des analyses plus détaillées de l'Observatoire pérenne de l'environnement (OPE).

Les éléments radioactifs qui ont été recherchés sont le potassium 40 (^{40}K), le carbone 14 (^{14}C), le tritium (^{3}H), les actinides, le strontium 90 (^{90}Sr) ainsi que le polonium 210 (^{210}Po). Les niveaux de radioactivité mesurés sont synthétisés dans le tableau ci-après.

Tableau 4-2 *Synthèse des niveaux de radioactivité mesurés dans la faune et la flore sur la période 2002-2013*

Origine	Éléments radioactifs	Valeurs mesurées		Unité	Produits
		Min	Max		
Naturelle	^{40}K	89	790	Bq/kg sec	Mousse terrestre
		67	858	Bq/kg sec	Produits forestiers
	^{7}Be	43	400	Bq/kg sec	Mousse terrestre
	^{14}C	237	243	Bq/kg C	Feuille d'arbre
	^{3}H	1,1	1,3	Bq/kg sec	Feuille d'arbre
	^{210}Po	8,7	29,5	Bq/kg sec	Herbe
Artificielle	^{137}Cs	2	300	Bq/kg sec	Mousse terrestre
		20	39	Bq/kg sec	Champignon
		0,2	2,1	Bq/kg sec	Gibier
		0,05	0,1	Bq/kg sec	Baie
	^{90}Sr	0,63	1,25	Bq/kg sec	Herbe
		6,16	15,24	Bq/kg sec	Gibier

La radioactivité mesurée dans la faune et la flore de la zone d'étude est principalement d'origine naturelle. Les niveaux de radioactivité naturelle (^{40}K, ^{210}Po...) sont dans la gamme des concentrations naturellement rencontrées dans l'environnement en France et ne laissent pas apparaître de variation significative d'une année sur l'autre. Les valeurs de radioactivité artificielle mesurées sont du niveau attendu pour un secteur situé à l'écart des installations nucléaires actuelles.

5

La description paysagère et les activités humaines

5.1 Le paysage 120
5.2 La population 121
5.3 Les habitats 124
5.4 Les activités humaines historiques 125
5.5 Les activités agricoles et sylvicoles 126
5.6 Les activités de loisirs, de plein air et de tourisme 127

L'objectif du chapitre 5 du présent volume est de présenter l'environnement humain et les activités associées autour de l'INB relevant des intérêts à protéger cités à l'article L. 593-1 du code de l'environnement eu égard à la présence de l'INB durant les phases de construction et d'exploitation puis la période de long terme après fermeture (cf. Volumes 8 et 9 du présent rapport) . Son contenu est une donnée d'entrée pour la définition des groupes de référence dans les calculs d'impact radiologique sur l'homme essentiellement pour la phase de fonctionnement mais elle peut aussi guider les réflexions pour la définition des groupes hypothétiques pour les évaluations d'impact propre à la période long terme après-fermeture.

Le contenu du présent chapitre s'appuie sur la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (1) qui présente de manière plus détaillée les données sur la description paysagère et les activités humaines dans son volume 3 « État initial de l'environnement et facteurs susceptibles d'être affectés par le projet ».

5.1 Le paysage

Le paysage autour de l'INB est rural, vallonné, agricole et boisé. L'INB Cigéo est situé dans l'ensemble paysager du « Vallage », et plus spécifiquement dans l'unité 7 correspondant au « Plateau de Rochefort à Saudron » qui sont décrits en détail dans la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (1).

Les caractéristiques paysagères associées sont les suivantes :

- un vaste plateau perché à dominante céréalière et forestière, en lien la figure 5-1 présente une vue du lieu d'implantation de la zone descenderie de l'INB, celle-ci montre de vastes emprises de cultures visibles au premier plan et, en arrière-plan lointain, des boisements ;
- des forêts profondément incisées par des vallées ;
- des sites naturels dans les forêts ;
- une richesse paysagère des grandes cultures offerte par les amples ondulations, les structures arborées et les restes de polyculture-élevage ;
- un doux relief, qui concentre une diversité paysagère : reliefs, vues, prairies de fauche, pâtures, arbres, villages ;
- des villages isolés, de petites tailles ;
- de nombreux bouquets d'éoliennes implantées au sein des espaces des grandes cultures ;
- des bâtiments d'exploitation agricoles imparfaitement inscrits dans les paysages ouverts.



Figure 5-1 *Paysage actuel vu depuis Gillaumé au lieu prévu d'implantation de la zone descenderie*

5.2 La population

La population décrite dans ce chapitre 5.2 est celle vivant au voisinage (champ proche et plus lointain) de la zone d'implantation de l'INB (cette dernière est exempte d'habitat). Elle est décrite de manière détaillée dans la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » du présent dossier (1) selon les aires d'études définies au chapitre 4 du présent volume. Les informations associées ont pour source les données de l'INSEE de 2017.

Ces données sont restituées ci-après en considérant le voisinage immédiat (aire d'étude immédiate[16]) puis des rayons de 20 km et 50 km autour de l'INB (cf. Tableau 5-1).

Tableau 5-1 *Nombre de communes, superficie, population à proximité de la zone d'implantation de l'INB*

Zone	Nombre de communes	Superficie (km²)	Population (2017)	Densité de population (habitant/km²)
Proximité immédiate	27	425	11 984	28,2
20 km autour de l'INB	112	1 624	33 000	19,9
50 km autour de l'INB	678	8 653	316 952	36,7

5.2.1 À proximité immédiate de l'INB

Ces données montrent que le territoire autour de la zone d'implantation de l'INB est très faiblement peuplé et est caractéristique d'une zone rurale où la densité de population est faible :

- plus de 90 % des communes ont moins de 1 000 habitants : plus précisément 92,3 % dans les 50 km autour du centre de stockage Cigéo et 94,6 % dans les 20 km ;
- la densité de la population est particulièrement faible comparativement à la région Grand Est (96,6 habitants/km²) et à la moyenne de la France métropolitaine (118,8 habitants/km²).

Les villes les plus peuplées à proximité sont Ligny-en-Barrois, Tronville-en-Barrois et Gondrecourt-le-Château. Le nombre d'habitants par commune y reste inférieur à 5 000 et la majorité des communes comprend moins de 500 habitants en particulier celles situées à proximité immédiate de l'INB qui n'excède pas 200 habitants (Bure, Saudron et Mandres-en-Barrois…) (cf. Tableau 5-2 ci-après).

[16] Pour rappel du chapitre 4 du présent volume, elle est centrée sur l'INB + l'ITE + la ligne 027000 et assortie d'un rayon de 500 mètres.

Tableau 5-2 Nombre d'habitants des communes à proximité immédiate de l'INB

Commune	Département	Population en 2017
Bonnet	Meuse	200
Bure	Meuse	84
Cirfontaines-en-Ornois	Haute-Marne	77
Échenay	Haute-Marne	92
Gillaumé	Haute-Marne	37
Mandres-en-Barrois	Meuse	118
Pansey	Haute-Marne	86
Ribeaucourt	Meuse	72
Saudron	Haute-Marne	46

5.2.2 Dans les 20 km et 50 km autour de l'INB

Dans les 20 km autour du centre de stockage Cigéo, la répartition de la population en 2017 s'établit :

- 20 216 habitants pour les 106 communes de moins de 1 000 habitants (62 % de la population de l'aire d'étude) ;
- 12 784 habitants pour les six communes de plus de 1 000 habitants (Ligny-en-Barrois, Joinville, Vaucouleurs, Chevillon, Bayard-sur-Marne et Gondrecourt-le-Château).

Dans ce rayon de 20 km, La densité de population se concentre au niveau des communes du nord-ouest de l'aire d'étude, le long de la vallée de la Marne (Bayard-sur-Marne, Chevillon, Joinville…) et au nord, le long de la route nationale N4 reliant Saint-Dizier et Ligny-en-Barrois (Ligny-en-Barrois, Stainville, Savonnières-en-Perthois, Dammarie-sur-Saulx). Des communes comptant parmi les plus denses se situent également le long de la vallée de l'Ornain (Tréveray, Demange-Baudignécourt, Gondrecourt-le-Château).

Dans les 50 km autour de l'INB Cigéo, la répartition de la population en 2017 s'établit comme suit :

- 139 635 habitants pour les 626 communes de moins de 1 000 habitants (44,1 % de la population de la zone de 50 km) ;
- 88 343 habitants pour les 46 communes dont la population est comprise entre 1 000 et 5 000 habitants ;
- 88 974 habitants pour les six communes de plus de 5 000 habitants (Saint-Dizier, Chaumont, Toul, Bar-le-Duc, Neufchâteau et Commercy).

La densité de population se concentre à l'ouest, autour des vallées de la Marne et de l'Ornain et, dans une moindre mesure à l'est, le long de la Vallée de la Meuse. Dans l'ouest, les communes les plus denses se situent le long de l'axe routier desservi par la route nationale N67 et reliant Saint-Dizier à Chaumont, le long de la Vallée de la Marne.

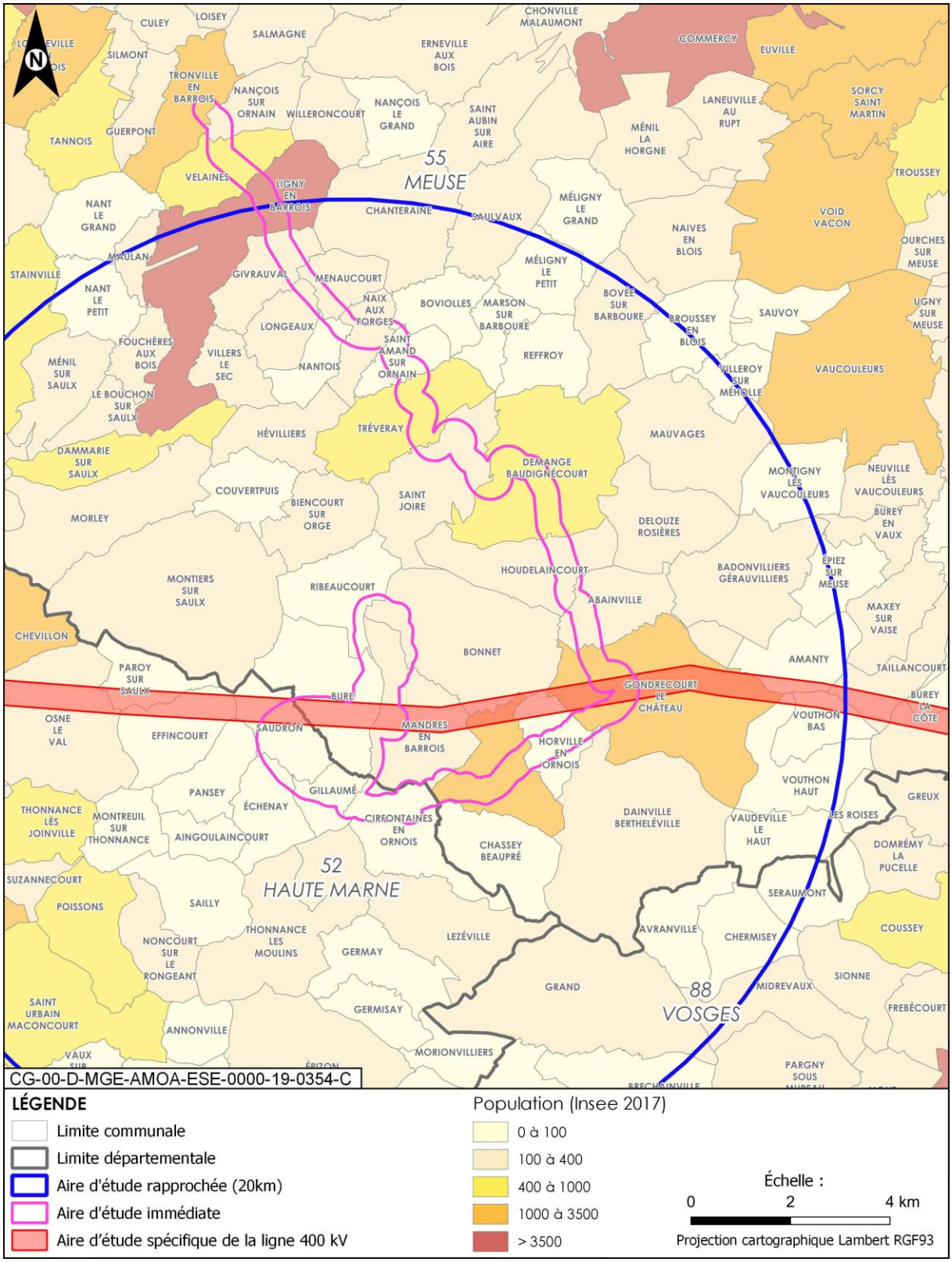


Figure 5-2 *Population dans les communes autour de la zone d'implantation de l'INB Cigéo en 2017 (figure extraite de la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (1))*

En termes de structure de la population, que ce soit pour l'aire d'étude éloignée et l'aire d'étude rapprochée, la structure démographique de la population met en évidence le net déficit des tranches d'âges les plus jeunes en comparaison avec la moyenne nationale, alors que les plus de 65 ans sont surreprésentés. Le tableau 5-3 précise les chiffres à proximité immédiate et dans les rayons de 20 et 50 km et les comparent à ceux de la région Grand Est et de la France métropolitaine.

Tableau 5-3 Population par tranche d'âges en 2017 pour les différentes zones

Population 2017	0-19 ans	20-64 ans	65 ans ou plus	Total
Proximité immédiate	2 401 (20,0 %)	6 504 (54,3 %)	3 079 (25,7 %)	**11 984**
20 km autour de l'INB	7 086 (21,5 %)	17 603 (53,3 %)	8 311 (25,2 %)	**33 000**
50 km autour de l'INB	72 023 (22,7 %)	175 377 (55,3 %)	69 552 (21,9 %)	**316 952**
Région Grand Est	1 295 752 (23,3 %)	3 175 681 (57,2 %)	1 078 154 (19,4 %)	**5 549 586**
France métropolitaine	15 595 731 (24,1 %)	36 378 282 (56,3 %)	12 665 121 (19,6 %)	**64 639 133**

5.3 Les habitats

Les villages constituent des unités paysagères à part entière. Sur le plateau, ils sont souvent installés à proximité des sources comme Bure, Mandres-en-Barois, Horville-en-Ornois, Cirfontaines-en-Ornois. Luméville-en-Ornois et Bonnet. Saudron est installé au fond de la vallée de l'Orge.

Ces villages ont une structure allongée (village rue) : Bure, Mandres-en-Barrois ou Cirfontaines-en-Ornois. Ce sont des villages agricoles composés de nombreuses fermes accolées. Ces ensembles bâtis ont conservé une structure traditionnelle de qualité typique de la région. Cette valeur patrimoniale architecturale des centres-bourgs s'oppose aux constructions plus récentes (lotissements ou pavillons individuels) en périphérie.

L'ensemble des villages possède des éléments patrimoniaux comme les églises, situées en général au centre du village et autour desquelles se situent des centres bourgs et des lavoirs.

Les villages sont plus ou moins ouverts sur les paysages, en fonction de leur situation (coteaux, fond de vallée, boisement, etc.) (cf. Figure 5-3).

Des alignements d'arbres valorisent les routes et les entrées de villages. Des vergers et des potagers sont aussi installés en périphérie de certains bourgs.



Figure 5-3 Le village de Bure

Plusieurs villages se trouvent à proximité des zones prévues d'implantation des infrastructures de surface de l'INB :

- la zone descenderie est située au sud-est de Saudron (500 mètres) et au nord de Gillaumé (environ 1 km) ;
- la zone puits est éloignée de quelques kilomètres de tout bourg et hameau ; les plus proches sont Bure, Ribeaucourt et Bonnet qui se trouvent respectivement à 1,5 km, 1,5 km et 5 km.

En termes de patrimoine, les villages à proximité des zones d'implantations de l'INB ne présentent pas de sites patrimoniaux remarquables. En revanche, quelques monuments historiques sont situés à proximité immédiate : églises de Ribeaucourt et Saint-Florentin, domaine de Beaupré. La pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (1) présente les monuments classés ou inscrits au titre des monuments historiques ou périmètre de protection recensés à proximité de la zone d'implantation de l'INB (NB : la plupart de ces monuments se concentre à Ligny-en-Barrois).

5.4 Les activités humaines historiques

Vis-à-vis des sites archéologiques, les données recueillies dans la base Mérimée du Ministère de la culture, indiquent qu'il existe trois sites archéologiques classés « Monument Historique » tous les trois aux vestiges d'une ancienne agglomération gauloise puis romaine du nom de Nasium, qui s'étendait notamment sur les communes de Boviolles, Naix-aux-Forges et Saint-Armand-sur-Ornain. Ces trois sites sont distants de plus de 10 km de la zone d'implantation des installations de l'INB (cf. Pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (1)).

Les territoires d'accueil de l'INB, comme beaucoup de territoire à l'Est de la France, ont subi la guerre franco-prussienne de 1870-1871 et la première et la seconde guerre mondiale. En conséquence, des munitions/engins de guerre peuvent être présents dans les sols et pourraient être dévoilés lors de la construction de l'INB. Le dossier départemental des risques majeurs (DDRM) de la Haute-Marne n'évoque pas le risque lié aux munitions de guerre (12). Le DDRM de la Meuse précise la quantité d'engins de guerre découverts par commune sur le département (13).

Le sud de ce département, et en particulier la zone proche du département de la Haute-Marne, lieu d'implantation de l'INB Cigéo, n'est toutefois que peu concerné par les découvertes d'engins de guerre comparativement aux communes de la partie Nord de la Meuse. La pollution pyrotechnique résiduelle liée aux deux derniers conflits mondiaux sur les communes concernées par l'implantation de l'INB Cigéo est, à ce titre, faible. Le volume 3 de la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (1) présente les données justificatives sur ce sujet issues du DDRM et de recherche documentaire sur les évènements ayant eu lieu à proximité de la zone d'implantation de l'INB Cigéo.

5.5 Les activités agricoles et sylvicoles

L'INB est localisée dans les départements de la Meuse et de la Haute-Marne au cœur de la région Grand Est. Avec plus de 54 % de sa superficie dédiée à l'agriculture, cette région est la première région française pour les superficies et les volumes de production des céréales (blé, orge, maïs…) et des oléo-protéagineux (colza, pois, tournesol). L'agriculture apparaît comme le secteur le plus représenté au sein du périmètre des 20 km, avec 24 % des établissements actifs. Toutefois, si l'agriculture est un secteur fortement représenté en nombre d'établissements, il reste néanmoins peu pourvoyeur d'emplois (moins de 3 % de l'ensemble des postes salariés).

Dans la région rurale d'implantation de l'INB, les activités agricoles sont très importantes et occupent une large partie des sols en particulier sur les plateaux (cas du plateau de Bure). Les productions agricoles sont essentiellement céréalières (blé, orge) et oléagineuses (colza), ou destinées à l'alimentation animale (maïs d'ensilage) notamment dans les vallées (Vallée de l'Orge, Vallée de la Saulx, Vallée de l'Ornain). Les champs souvent très grands traduisent un remembrement poussé et une agriculture semi-intensive. Les vallées et quelques secteurs des plateaux moins favorables aux grandes cultures sont dominés par l'élevage. L'élevage bovin est largement prépondérant bien que l'on note la présence de quelques troupeaux d'ovins.

Les surfaces agricoles couvrent plus de 62 % du territoire des 7 communes de l'aire d'étude agricole rapprochée ; dont 80 % sont des terres labourables. Les productions agricoles, majoritairement de grandes cultures, se sont étendues au détriment des surfaces en herbe, souvent labourées à la suite du déclin de certains élevages laitiers malgré quelques reconversions en troupeaux allaitants et la création d'ateliers d'engraissement hors sol. Les exploitations agricoles se sont beaucoup modernisées du fait de l'agrandissement des structures et leur organisation sous forme sociétaire alors que le nombre d'exploitation a quant à lui diminué (-20 % en dix ans en moyenne pour l'aire d'étude éloignée cantonale). L'industrie agro-alimentaire est essentiellement orientée sur la transformation fromagère dans un territoire de production sous AOP Brie de Meaux.

Le taux de boisement relativement élevé du secteur de la région Grand Est (12 % de la surface forestière nationale) favorise une activité sylvicole et forestière relativement importante. La moitié des forêts est publique et gérée par l'ONF. Ces forêts sont principalement composées de feuillus, majoritairement de hêtres et chênes. La production biologique moyenne est estimée à 5,1 m^3 de bois par hectare et par an. Malgré la présence de quelques unités de transformation de bois (industriel et ameublement), l'essentiel de la production est exporté.

5.6 Les activités de loisirs, de plein air et de tourisme

Les activités de loisirs et de tourisme pratiquées dans la région sont principalement des activités de plein air telles que la randonnée, la baignade, la chasse. La chasse est une activité habituelle en Meuse et en Haute-Marne. Les pratiques de chasse sont bien connues du public. Les espaces sont en quasi-totalité chassables. Les fédérations départementales de la chasse de la Meuse et de la Haute-Marne indiquent que les activités de chasse concernent essentiellement le grand gibier (sanglier, chevreuil, etc.). Il existe toutefois aussi de la chasse au plus petit gibier.

La présence de nombreux bosquets et forêt faits de la cueillette, des champignons par exemple, et du ramassage de bois de chauffe des activités également couramment pratiquées dans l'aire d'étude.

L'environnement naturel et forestier de l'aire d'étude favorise l'existence de nombreux chemins pédestres. Plusieurs sentiers de loisirs traversent l'aire d'étude immédiate. Parmi eux, deux chemins de grande randonnée (GR), un chemin de petite randonnée (PR) et la voie verte du canal de la Marne au Rhin.

Le chemin de grande randonnée GR 703 intitulé « Sur les pas de Jeanne d'Arc » passe à proximité de la limite sud de la zone descenderie sur les communes suivantes : Cirfontaines-en-Ornois, Gillaumé, Échenay, Pansey, Montreuil-sur-Thonnance, Noncourt-sur-le-Rongeant et Poissons. Le GR 714 passe en limite nord de la zone puits (au nord de la zone de dépôt des verses), par les communes de Couvertpuis, Ribeaucourt, Bonnet, Abainville, Gondrecourt-le-Château et Vouthon-Haut.

Les établissements culturels (cinéma, théâtre, musée) et les équipements sportifs (gymnase, stade, centre équestre) et les hébergements touristiques (hôtels, gîte …) sont majoritairement situés à des distances conséquentes. À proximité de la zone d'implantation de l'INB, il est recensé qu'un hôtel (l'hôtel du Bindeuil) et les installations du Centre de Meuse/Haute-Marne de l'Andra qui accueillent du public. Ces installations rassemblent le Laboratoire souterrain, l'Écothèque et l'Espace technologique et accueillent plusieurs milliers de visiteurs à l'année. Au-delà, il faut aller jusqu'à Gondrecourt-le-Château pour recenser un équipement de ce type (un équipement sportif en l'occurrence).

6

L'environnement industriel et les voies de communication

6.1 Les activités, installations, ouvrages, travaux 130
6.2 Les canalisations de transport et les lignes électriques 155
6.3 Les voies de communication 156
6.4 Les activités projetées au voisinage de l'INB 164

L'objectif du chapitre 6 du présent volume est de présenter l'environnement industriel et les voies de communication autour de l'INB relevant des intérêts à protéger cités à l'article L. 593-1 du code de l'environnement durant les phases de construction et d'exploitation puis la période de long terme après fermeture (cf. Volumes 8 et 9 du présent rapport). De plus, l'environnement industriel et les voies de communication citées dans ce chapitre sont des données d'entrée de la démonstration de sûreté dans le but d'analyser les risques inhérents d'agressions externes de l'INB (cf. Chapitre 4 du volume 9 du présent rapport) conformément à l'article 3.6 de l'arrêté du 7 février 2012 (14).

Le contenu du présent chapitre s'appuie autant que nécessaire sur les développements analogues et plus précis de la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (1).

6.1 Les activités, installations, ouvrages, travaux

L'environnement proche des installations de l'INB est très faiblement industrialisé. Le présent chapitre liste ci-après les activités industrielles situées à proximité de l'INB.

6.1.1 Les activités industrielles en dehors du centre de stockage Cigéo

D'après le site internet Géorisques[17] du ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires, réalisé en partenariat avec le BRGM, qui recense les ICPE (juin 2025), les établissements « Seveso » les plus proches du centre de stockage Cigéo sont représentés sur la figure 6-1. Il s'agit des établissements suivants :

- l'établissement SEVESO seuil bas « **FERRO France** » (fabrication d'émaux pour métaux, verres et céramiques) sur la commune de Saint-Dizier, à environ 30 km à l'ouest de la ligne ferroviaire 027000 ;
- l'établissement SEVESO seuil haut « **STORENGY** » (industrie), sur la commune de Trois-Fontaines-l'Abbaye, à environ 25 km à l'ouest de la ligne ferroviaire 027000 ;
- l'établissement SEVESO seuil haut « **INNOSPEC PERFORMANCE CHEMICALS** » (fabrication de savons, détergents et produits d'entretien) sur la commune de Han-sur-Meuse, à environ 25 km au nord-est de la ligne ferroviaire 027000 ;

Aucun établissement « Seveso », seuil haut ou bas, ni aucun plan de prévention des risques technologiques (PPRT) associé n'est recensé à proximité[18] de l'INB.

[17] https://www.georisques.gouv.fr/
[18] Dans un rayon *a minima* de 5 km

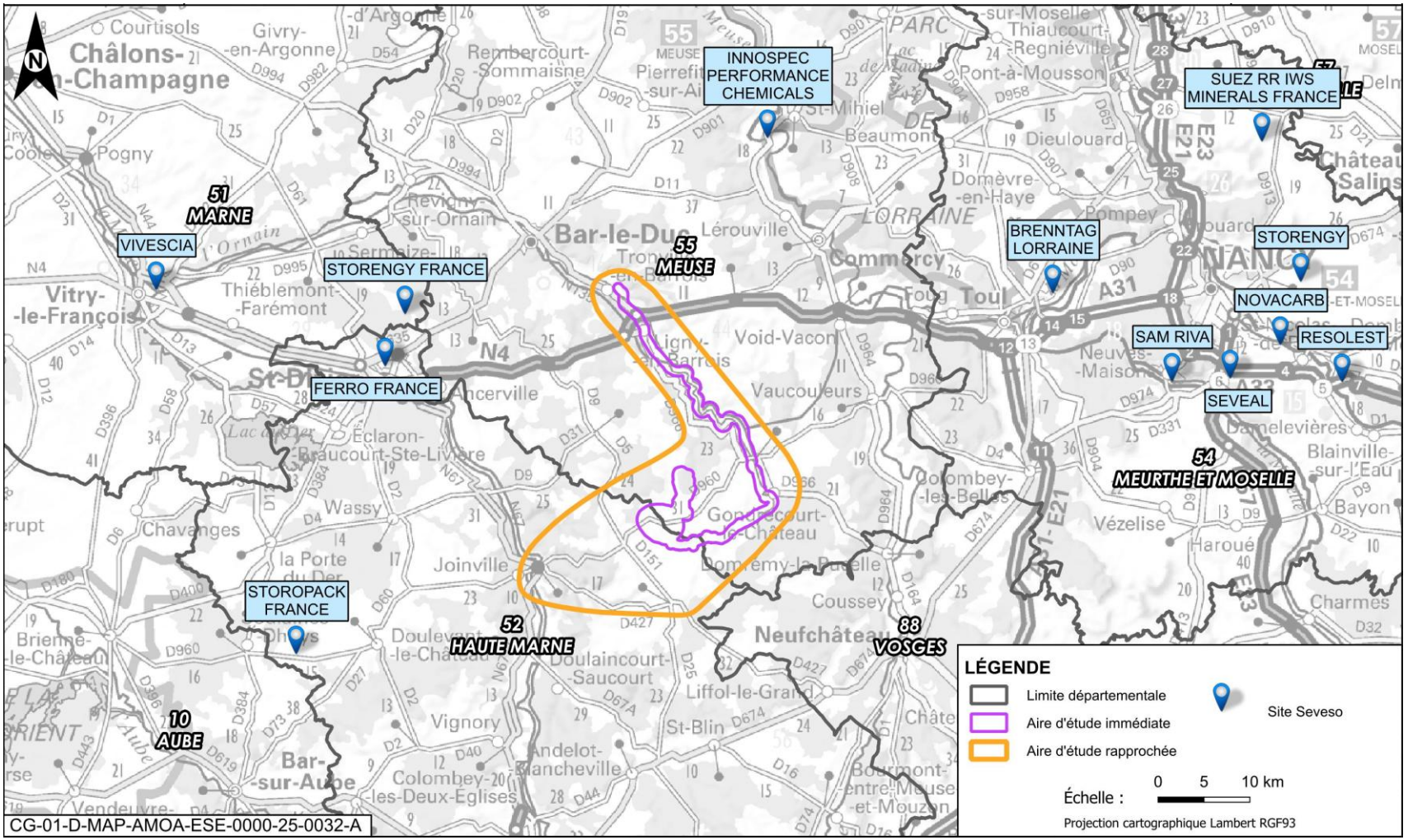


Figure 6-1 Sites SEVESO recensés autour du centre de stockage Cigéo (1)

Les ICPE hors régime SEVESO présentant le plus de risques, à savoir les ICPE soumises à autorisation et enregistrement, ont été recensées à partir du site internet des ICPE Géorisques du ministère de la Transition écologique et de la cohésion des territoires (données de juin 2025). Les ICPE soumises à déclaration, pour lesquelles le risque est moindre, sont quant à elles recensées à partir des données transmises par les préfectures de la Meuse et de la Haute-Marne.

La majorité des ICPE recensées dans l'aire d'étude immédiate sont localisées à proximité de la ligne ferroviaire 027000 et non à proximité du centre de stockage Cigéo, à l'exception des installations suivantes, situées à proximité de la zone descenderie :

- le Laboratoire souterrain de Meuse/Haute-Marne de l'Andra soumis à déclaration ;
- la station-service de Bure soumise à déclaration ;
- l'établissement Gérard SOMMER soumis à enregistrement.

Les ICPE soumises à autorisation et enregistrement les plus proches du centre de stockage Cigéo, sont les suivantes :

- à proximité de la zone descenderie :
  - ✓ la plateforme Syndièse du CEA, soumise à enregistrement. Cette installation située à Saudron, à environ 2 km de la zone descenderie, est classée pour l'utilisation de trois broyeurs de bois ;
  - ✓ l'installation EOLE de la Plaine d'Osne-Est, soumise à autorisation.
- à proximité de la zone puits, les établissements soumis à autorisation « Fromagerie RENARD GILLARD », P&T Technologie SAS, « SPEBH » ainsi que les CEPE « DES 3 SOURCES » et « de SAINT-FLORENTIN ».

Différents parcs éoliens soumis à autorisation sont présents sur les communes limitrophes aux communes d'implantation du centre de stockage :

- sur la commune de Bonnet, la centrale électrique de production éolienne (CEPE) de Saint-Florentin SNC et le SPEBH, située à environ 3,5 km à l'est de la zone puits ;
- sur la commune d'Houdelaincourt, la CEPE des trois sources, située à environ 4 km au nord de la zone puits ;
- sur les communes de Saint-Urbain-Maconcourt, Domremy-Landéville, Annonville, le parc éolien de la Combe Rougeux, situé à plus de 10 km au sud-ouest de la zone descenderie.

Le centre radioélectrique de Cirfontaines-en-Ornois, où opère un radar de contrôle aérien civil, est implanté à plus de 5 km au sud-est des zones puits et descenderie du centre de stockage.

Par ailleurs, vis-à-vis des installations conventionnelles qui ne relèvent pas de l'appellation SEVESO ou de la nomenclature ICPE/IOTA, aucune installation, à proximité[19], n'a été identifiée comme susceptibles de porter atteinte aux installations de l'INB.

Pour mémoire, les installations et activités existantes de l'Andra au Centre de Meuse/Haute-Marne ne relèvent pas des régimes de l'enregistrement ou de l'autorisation au titre des installations classées.

6.1.2 Les activités, installations, ouvrages, travaux sur le centre de stockage Cigéo

Les installations et ouvrages situés sur le centre de stockage mais implantés en dehors du périmètre de l'INB relevant de la nomenclature ICPE/IOTA, et identifiés dans le présent dossier de demande d'autorisation de création, sont indiqués dans les tableaux suivants. Pour chaque installation et ouvrage présentés, sont indiquées les quantités projetées compte tenu de l'avancement des études de conception actuellement disponibles ainsi que le classement associé.

[19] Dans un rayon à minima de 5 km

Tableau 6-1 Tableau récapitulatif des ICPE en phase de construction initiale situées sur le centre de stockage (hors INB)

Rubriques	Rubriques/ Désignations	Équipements/ substances/ ouvrages concernés	Installations/ Ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
1185	1185 - Gaz à effet de serre fluorés visés à l'annexe I du règlement (UE) n° 517/2014 relatif aux gaz à effet de serre fluorés et abrogeant le règlement (CE) n° 842/2006 ou substances qui appauvrissent la couche d'ozone visées par le règlement (CE) n° 1005/2009 (fabrication, emploi, stockage).	Fluide frigorigène	Tout chantier hors INB Zone descenderie et zone puits	Fluide vert type HFO <50 kg	Déclaration avec contrôle
1435	1435 - Stations-service : installations, ouvertes ou non au public, où les carburants sont transférés de réservoirs de stockage fixes dans les réservoirs à carburant de véhicules.	Aire carburant	Installation temporaire de chantier en zone puits	3 120 m^3/an	Déclaration avec contrôle
1630	1630 - Soude ou potasse caustique (emploi ou stockage de lessives de), le liquide renfermant plus de 20 % en poids d'hydroxyde de sodium ou de potassium.	Lessive de soude (soude en solution entre 5 % et 50 %)	A-07 Zone descenderie	4 L soit <8 kg <1 t	Non soumis
2515	2515-1. Installations de broyage, concassage, criblage, ensachage, pulvérisation, lavage, nettoyage, tamisage, mélange de pierres, cailloux, minerais et autres produits minéraux naturels ou artificiels ou de déchets non dangereux inertes, en vue de la production de matériaux destinés à une utilisation, à l'exclusion de celles classées au titre d'une autre rubrique ou de la sous-rubrique 2515-2.	Concasseur de voussoirs	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	400 kW	Enregistrement

Rubriques	Rubriques/ Désignations	Équipements/ substances/ ouvrages concernés	Installations/ Ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
2516	2516 - Station de transit de produits minéraux pulvérulents non ensachés tels que ciments, plâtres, chaux, sables fillérisés ou de déchets non dangereux inertes pulvérulents.	Centrale à béton	Installations temporaires de chantier en zone puits	11 800 m³	Enregistrement
		Centrale à béton chantier (stock matériaux)	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	Supérieure à 5 000 m³, mais inférieure ou égale à 25 000 m³	
2517	2517 - Station de transit, regroupement ou tri de produits minéraux ou de déchets non dangereux inertes autres que ceux visés par d'autres rubriques	Stock pile TFF (plateforme de regroupement hors INB) avec une séquence de caractérisation	I-03 Stock Pile du Terminal Ferroviaire Fret	7 500 m³	Déclaration
2518	2518 - Installations de production de béton prêt à l'emploi équipée d'un dispositif d'alimentation en liants hydrauliques mécanisé, à l'exclusion des installations visées par la rubrique 2522.	Malaxeur centrale à béton chantier (CAB 1/2)	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	2 m³	Enregistrement
		Malaxeur centrale à béton chantier (CAB 2/2)	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	2 m³	

Rubriques	Rubriques/ Désignations	Équipements/ substances/ ouvrages concernés	Installations/ Ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
		Malaxeur centrale à mortier chantier	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	2,5 m^3	
		Malaxeur centrale à béton chantier	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	2,5 m^3	
2521	2521. Station d'enrobage au bitume de matériaux routiers	Centrale à Chaud en ZP	Installations temporaires de chantier Zone puits	Supérieure à 400 kW	Enregistrement
2522	2522. Installation de fabrication de produits en béton par procédé mécanique	1 malaxeur en ZD	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	<400 kW	Enregistrement
		1 malaxeur en ZP	Installations temporaires de chantier Zone puits	<400 kW	
2760-3	2760-3. Installation de stockage de déchets inertes	Stockage MATEX	Butte de Gillaumé	-	Enregistrement

Rubriques	Rubriques/ Désignations	Équipements/ substances/ ouvrages concernés	Installations/ Ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
2921	2921 – 1.Refroidissement évaporatif par dispersion d'eau dans un flux d'air généré par ventilation mécanique ou naturelle	TAR refroidissement chantier tunnelier DS	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	500 kW	Déclaration avec contrôle
		TAR refroidissement chantier tunnelier DC	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	500 kW	
2925	2925 - Accumulateurs électriques (ateliers de charge)	Ateliers de maintenance et magasins associés aux domaines des services conventionnels de surface + Bâtiment de transit - Équipements entrants/sortants (SS2) (partiellement) + Lingerie	A-07 Zone descenderie	2 postes de charge Puissance totale estimée <50 kW	Déclaration
		Ateliers de maintenance et magasins associés aux domaines des services conventionnels de surface + Laboratoire entreprises (compris surfaces carothèque)	A-04 Zone puits	2 postes de charge Puissance totale estimée <50 kW	
		Emprise maintenance	Installation temporaire de chantier en zone puits	>50 kW	

Rubriques	Rubriques/ Désignations	Équipements/ substances/ ouvrages concernés	Installations/ Ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
2930	2930 - Ateliers de réparation et d'entretien de véhicules et engins à moteurs, y compris les activités de carrosserie et de tôlerie.	Ateliers de maintenance et magasins associés aux domaines des services conventionnels de surface + Bâtiment de transit - Équipements entrants/sortants (SS2) (partiellement) + Lingerie	A-07 Zone descenderie	254 m²	Non soumis
		Ateliers de maintenance et magasins associés aux domaines des services conventionnels de surface + Laboratoire entreprises (compris surfaces carothèque)	A-04 Zone puits	156 m²	
		Emprise maintenance	Installation temporaire de chantier en zone puits	583 m²	
4110	4110 - Toxicité aiguë catégorie 1 pour l'une au moins des voies d'exposition, à l'exclusion de l'uranium et ses composés.	Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non soumis
		Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	

Rubriques	Rubriques/ Désignations	Équipements/ substances/ ouvrages concernés	Installations/ Ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
4120	4120 - Toxicité aiguë catégorie 2, pour l'une au moins des voies d'exposition.	Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non soumis
		Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
4130	4130 - Toxicité aiguë catégorie 3 pour les voies d'exposition par inhalation.	Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non soumis
		Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
4140	4140 - Toxicité aiguë catégorie 3 pour la voie d'exposition orale (H301) dans le cas où ni la classification de toxicité aiguë par inhalation ni la classification de toxicité aiguë par voie cutanée ne peuvent être établies, par exemple en raison de l'absence de données de toxicité par inhalation et par voie cutanée concluantes.	Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non soumis
		Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	

Rubriques	Rubriques/ Désignations	Équipements/ substances/ ouvrages concernés	Installations/ Ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
4220	4220 - Produits explosifs (stockage de), à l'exclusion des produits explosifs présents dans les espaces de vente des établissements recevant du public. *Nota : la « quantité équivalente totale de matière active » est établie selon la formule : A + B + C/3 + D/5 + E + F/3.* *A représentant la quantité relative aux produits classés en division de risque 1.1 ainsi que tous les produits lorsque ceux-ci ne sont pas en emballages fermés conformes aux dispositions réglementaires en matière de transport.* *B, C, D, E, F représentant respectivement les quantités relatives aux produits classés en division de risque 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 et 1.6 lorsque ceux-ci sont en emballages fermés conformes aux dispositions réglementaires en matière de transport.*	Dépôts explosifs	Installations temporaires de chantier Zone puits	1 550 kg	Autorisation
		Dépôts explosifs	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	1 550 kg	
4310	4310 - Gaz inflammables catégorie 1 et 2.	Produits stockés pour SS2 : bouteille d'argon-méthane	A-07 Zone descenderie	5 L soit <10 kg	Non soumis

Rubriques	Rubriques/ Désignations	Équipements/ substances/ ouvrages concernés	Installations/ Ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
4320	4320 - Aérosols extrêmement inflammables ou inflammables de catégorie 1 ou 2, contenant des gaz inflammables de catégorie 1 ou 2 ou des liquides inflammables de catégorie 1.	Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	Non soumis
		Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	
4321	4321 - Aérosols extrêmement inflammables ou inflammables de catégorie 1 ou 2, ne contenant pas de gaz inflammables de catégorie 1 ou 2, ni de liquide inflammable de catégorie 1.	Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non soumis
		Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	
4331	4331 - Liquides inflammables de catégorie 2 ou catégorie 3 à l'exclusion de la rubrique 4330.	Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	<150 L soit <118,5 kg	Non soumis
		Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	<150 L soit <118,5 kg	
		Produits d'entretien et de maintenance : solvants, huiles et peintures	Installation temporaire de chantier en zone puits	4,6 t	

Rubriques	Rubriques/ Désignations	Équipements/ substances/ ouvrages concernés	Installations/ Ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
4441	4441 - Liquides comburants catégorie 1, 2 ou 3.	Eau oxygénée	Installation temporaire de chantier Zone descenderie	Substance non identifiée, si présence alors < 2 L	Non soumis
		Eau oxygénée	A-01 Zone puits	Substance non identifiée, si présence alors < 2 L	
4442	4442 - Gaz comburants Catégorie 1.	Protoxyde d'azote (gaz médicaux)	Installation Temporaire de chantier Zone descenderie	<2 t	Non soumis
		Protoxyde d'azote (gaz médicaux)	A-01 Zone puits	<2 t	
4510	4510 - Dangereux pour l'environnement aquatique de catégorie aiguë 1 ou chronique 1.	Eau de javel et produits de la même famille	Installation temporaire de chantier en zone puits	4,6 t	Non soumis
		Produits d'entretien et de maintenance type eau de javel	Installations temporaires de chantier + bâtiments listés dans ce tableau en zone descenderie et zone puits + Bâtiments administratifs (A-06 en ZD et A-03 en ZP)	<10 L par bâtiment, soit <10 kg	

Rubriques	Rubriques/ Désignations	Équipements/ substances/ ouvrages concernés	Installations/ Ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
		Produits stockés : Ultima Gold XR, Ultima Gold F (9 L)	A-07 Zone descenderie	9 L soit <10 kg	
		Eau de javel et produits de la même famille	E-15 Zone puits	<10 L par bâtiment, soit <10 kg	
4511	4511 - Dangereux pour l'environnement aquatique de catégorie chronique 2.	Produits d'entretien et de maintenance	Installation temporaire de chantier en zone puits	4,6 t	Non soumis
		Produits d'entretien et de maintenance type eau de javel	Installations temporaires de chantier + bâtiments listés dans ce tableau en zone descenderie et zone puits + Bâtiments administratifs (A-06 en ZD et A-03 en ZP)	<10 L par bâtiment, soit <10 kg	
		Produits stockés : Hionic Fluor (9 L)	A-07 Zone descenderie	9 L soit <10 kg	

Rubriques	Rubriques/ Désignations	Équipements/ substances/ ouvrages concernés	Installations/ Ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
4718	4718 - Gaz inflammables liquéfiés de catégorie 1 et 2 (y compris GPL) et gaz naturel (y compris biogaz affiné, lorsqu'il a été traité conformément aux normes applicables en matière de biogaz purifié et affiné, en assurant une qualité équivalente à celle du gaz naturel, y compris pour ce qui est de la teneur en méthane, et qu'il a une teneur maximale de 1 % en oxygène).	Bouteilles de gaz pour les soudures des rails	Ouvrages souterrains	0,42 t	Non soumis
		Bouteilles de propane pour les opérations ponctuelles de soudure Pas de stockage identifié en bâtiment	Tout chantier hors INB Zone descenderie	2 bouteilles de 35 kg maxi soit 70 kg maxi par zone de chantier	
		Bouteilles de propane pour les opérations ponctuelles de soudure Pas de stockage identifié en bâtiment	Tout chantier hors INB Zone puits	2 bouteilles de 35 kg maxi soit 70 kg maxi par zone de chantier	
4719	4719 - Acétylène (numéro CAS 74-86-2).	Acétylène pour postes de soudure en chantier Pas de stockage identifié en bâtiment	Tout chantier hors INB Zone puits et zone descenderie	19 kg par zone de chantier	Déclaration
4725	4725 - Oxygène (numéro CAS 7782-44-7).	Oxygène pour postes de soudure en chantier Pas de stockage identifié en bâtiment	Tout chantier hors INB Zone descenderie	10 L par zone de chantier	Non soumis
		Oxygène pour postes de soudure en chantier Pas de stockage identifié en bâtiment	Tout chantier hors INB Zone puits	10 L par zone de chantier	

Rubriques	Rubriques/ Désignations	Équipements/ substances/ ouvrages concernés	Installations/ Ouvrages	Quantités projetées	Classifications projetées
4734	4734 - Produits pétroliers spécifiques et carburants de substitution : essences et naphtas ; kérosènes (carburants d'aviation compris) ; gazoles (gazole diesel, gazole de chauffage domestique et mélanges de gazoles compris) ; fioul lourd ; carburants de substitution pour véhicules, utilisés aux mêmes fins et aux mêmes usages et présentant des propriétés similaires en matière d'inflammabilité et de danger pour l'environnement.	Groupes électrogènes de chantiers	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	25 t (30 m³)	Déclaration avec contrôle
		Groupes électrogènes de chantiers	Installations temporaires de chantier Zone puits	16 t (19 m³)	
		Zone carburant/ Atelier de maintenance	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	<50 t	
4801	4801 - Houille, coke, lignite, charbon de bois, goudron, asphalte, brais et matières bitumineuses.	Stockage de matières bitumineuses pour les enrobages routiers (si non mutualisé avec les autres sous-systèmes)	Installations temporaires de chantier Zone puits	<500 T	Déclaration
		Stockage de matières bitumineuses pour les enrobages routiers (si non mutualisé avec les autres sous-systèmes)	Installations temporaires de chantier Zone descenderie	<500 T	

Tableau 6-2 Tableau récapitulatif des ICPE en phase de fonctionnement situées sur le centre de stockage (hors INB)

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (15)	Quantités projetées	Classement associé
1185	1185 - Gaz à effet de serre fluorés visés à l'annexe I du règlement (UE) n° 517/2014 relatif aux gaz à effet de serre fluorés et abrogeant le règlement (CE) n° 842/2006 ou substances qui appauvrissent la couche d'ozone visées par le règlement (CE) n° 1005/2009 (fabrication, emploi, stockage) 2. Emploi dans des équipements clos en exploitation.	Bâtiment de production d'eau glacée	H-04 Zone descenderie	Fluide vert type HFO (HFO R1233zd) >300 kg	Déclaration avec contrôle
		Bâtiment de production d'eau glacée	H-06 Zone puits	Fluide vert type HFO (HFO R1233zd) >300 kg	
1435	1435 - Stations-service : installations, ouvertes ou non au public, où les carburants sont transférés de réservoirs de stockage fixes dans les réservoirs à carburant de véhicules	Aire carburant	A-04 Zone descenderie	40 m³/an	Déclaration avec contrôle
		Aire carburant	H-01 Zone puits	3 120 m³/an	
1510	1510 - Entrepôts couverts (installations, pourvues d'une toiture, dédiées au stockage de matières ou produits combustibles en quantité supérieure à 500 tonnes), à l'exception des entrepôts utilisés pour le stockage de matières, produits ou substances classés, par ailleurs, dans une unique rubrique de la présente nomenclature, des bâtiments destinés exclusivement au remisage des véhicules à moteur et de leur remorque, des établissements recevant du public et des entrepôts exclusivement frigorifiques	Atelier de maintenance	A-07 Zone descenderie	<500 t de combustibles Maxi 7 560 m³	Déclaration avec contrôle
		Atelier de maintenance	A-04 zone puits	<500 t de combustibles Maxi 800 m³	

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (15)	Quantités projetées	Classement associé
1532	Bois ou matériaux combustibles analogues, y compris les produits finis conditionnés et les produits ou déchets répondant à la définition de la biomasse et mentionnés à la rubrique 2910-A, ne relevant pas de la rubrique 1531 (stockage de), à l'exception des établissements recevant du public	Bâtiment chaufferie zone descenderie	H-05	-	Non Soumis
		Bâtiment chaufferie zone puits	H-07	-	
1630	1630 - Soude ou potasse caustique (emploi ou stockage de lessives de), le liquide renfermant plus de 20 % en poids d'hydroxyde de sodium ou de potassium	Lessive de soude (soude en solution entre 5 % et 50 %) Atelier de maintenance	A-07 Zone descenderie	4 L soit <8 kg <1 t	Non Soumis

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (15)	Quantités projetées	Classement associé
1978	1978. Solvants organiques (installations et activités mentionnées à l'annexe VII de la directive 2010/75/UE du 24 novembre 2010 (16) relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution) 4. Nettoyage de surface à l'aide de composés organiques volatils à mentions de danger H340, H350, H350i, H360D ou H360F, ou de composés organiques volatils halogénés à mentions de danger H341 ou H351, au sens du règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n° 1907/2006 5. Autres nettoyages de surface	Ateliers de maintenance	A-07 Zone descenderie	10 kg/an	Non Soumis
		Ateliers de maintenance	A-04 Zone puits	10 kg/an	
		Atelier de maintenance	H-09 Zone puits	20 kg/an	
2516	2516 - Station de transit de produits minéraux pulvérulents non ensachés tels que ciments, plâtres, chaux, sables fillerisés ou de déchets non dangereux inertes pulvérulents	Centrale à béton zone puits	H-03	11 800 m^3	Déclaration

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (15)	Quantités projetées	Classement associé
2563	2563 - Nettoyage-dégraissage de surface quelconque, par des procédés utilisant des liquides à base aqueuse ou hydrosolubles à l'exclusion des activités de nettoyage-dégraissage associées à du traitement de surface	Ateliers de maintenance	A-07 Zone descenderie	<20L	Déclaration avec contrôle
		Ateliers de maintenance	A-04 Zone puits	<20L	
		Atelier de maintenance	H-09 Zone puits	500 L	
2760-3	2760-3. Installation de stockage de déchets inertes	Stockage MATEX	Butte de Gillaumé	-	Enregistrement
2910	2910 - Combustion à l'exclusion des activités visées par les rubriques 2770, 2771, 2971 ou 2931 et des installations classées au titre de la rubrique 3110 ou au titre d'autres rubriques de la nomenclature pour lesquelles la combustion participe à la fusion, la cuisson ou au traitement, en mélange avec les gaz de combustion, des matières entrantes	Bâtiment chaufferie	H-05 Zone descenderie	7,4 MW	Déclaration avec contrôle
		Bâtiment chaufferie	H-07 Zone puits	4,9 MW	
2925	2925 - Accumulateurs électriques (ateliers de charge d')	Ateliers de maintenance	A-07 Zone descenderie	Deux postes de charge Puissance totale estimée <50 kW	Déclaration
		Ateliers de maintenance	A-04 Zone puits	Deux postes de charge Puissance totale estimée <50 kW	
		Ateliers de maintenance Emprise maintenance	H-09 Zone puits	>50 kW	

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (15)	Quantités projetées	Classement associé
2930	2930 - Ateliers de réparation et d'entretien de véhicules et engins à moteurs, y compris les activités de carrosserie et de tôlerie 1. Réparation et entretien de véhicules et engins à moteur	Ateliers de maintenance	A-07 Zone descenderie	254 m²	Non Soumis
		Ateliers de maintenance	A-04 Zone puits	156 m²	
		Ateliers de maintenance Emprise maintenance	H-09 Zone puits	583 m²	
4110	4110 - Toxicité aiguë catégorie 1 pour l'une au moins des voies d'exposition, à l'exclusion de l'uranium et ses composés	Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non Soumis
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
4120	4120 - Toxicité aiguë catégorie 2, pour l'une au moins des voies d'exposition	Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non Soumis
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
4130	4130 - Toxicité aiguë catégorie 3 pour les voies d'exposition par inhalation	Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non Soumis
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (15)	Quantités projetées	Classement associé
4140	4140 - Toxicité aiguë catégorie 3 pour la voie d'exposition orale (H301) dans le cas où ni la classification de toxicité aiguë par inhalation ni la classification de toxicité aiguë par voie cutanée ne peuvent être établies, par exemple en raison de l'absence de données de toxicité par inhalation et par voie cutanée concluantes	Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non Soumis
		Ateliers de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	
4310	4310 - Gaz inflammables Catégorie 1 et 2	Atelier de maintenance Produits stockés : bouteille d'argon-méthane	A-07 Zone descenderie	5 L soit <10 kg	Non Soumis
4320	4320 - Aérosols extrêmement inflammables ou inflammables de catégorie 1 ou 2, contenant des gaz inflammables de catégorie 1 ou 2 ou des liquides inflammables de catégorie 1	Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	Non Soumis
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (15)	Quantités projetées	Classement associé
4321	4321 - Aérosols extrêmement inflammables ou inflammables de catégorie 1 ou 2, ne contenant pas de gaz inflammables de catégorie 1 ou 2, ni de liquide inflammable de catégorie 1	Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	Non identifiée, si présence, 2 kg maxi	Non Soumis
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	Substance non identifiée, si présence alors 2 kg maxi	
4331	4331 - Liquides inflammables de catégorie 2 ou catégorie 3 à l'exclusion de la rubrique 4330	Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-07 Zone descenderie	<150 L soit <118,5 kg	Non Soumis
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	A-04 Zone puits	<150 L soit <118,5 kg	
		Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance : solvants, huiles et peintures	H-09 Zone puits	4,6 t	
4441	4441 - Liquides comburants catégorie 1, 2 ou 3	Centre médical Eau oxygénée	A-01 Zone descenderie	Substance non identifiée, si présence alors <2 L	Non Soumis
		Centre médical Eau oxygénée	A-01 Zone puits	Substance non identifiée,si présencealors <2 L	

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (15)	Quantités projetées	Classement associé
4442	4442 - Gaz comburants catégorie 1	Centre médical Protoxyde d'azote (gaz médicaux)	A-01 Zone descenderie	<2 t	Non Soumis
		Centre médical Protoxyde d'azote (gaz médicaux)	A-01 Zone puits	<2 t	
4510	4510 - Dangereux pour l'environnement aquatique de catégorie aiguë 1 ou chronique 1	Atelier de maintenance Eau de javel et produits de la même famille	H-09 Zone puits	4,6 t	Non Soumis
		Produits d'entretien et de maintenance type eau de javel	Tout bâtiment conventionnel hors INB	<10 L par bâtiment, soit <10 kg	
		Atelier de maintenance Produits stockés : Ultima Gold XR, Ultima Gold F (9L)	A-07 Zone descenderie	9 L soit <10 kg	
		Unité de traitement des eaux de fond Eau de javel et produits de la même famille	E-15 Zone puits	<10 kg	
4511	4511 - Dangereux pour l'environnement aquatique de catégorie chronique 2	Atelier de maintenance Produits d'entretien et de maintenance	H-09 Zone puits	4,6 t	Non Soumis

Rubriques	Rubriques Désignations	Équipements substances ouvrages concernés	Installations Ouvrages (15)	Quantités projetées	Classement associé
		Produits d'entretien et de maintenance type Eau de javel	Tout bâtiment conventionnel hors INB	<10 L par bâtiment, soit < 10 kg	
		Atelier de maintenance Produits stockés : Hionic Fluor (9L)	A-07 Zone descenderie	9 L soit < 10 kg	
4719	4719 – Acétylène (numéro CAS 74-86-2)	Atelier de maintenance Acétylène en local soudure du H-09	H-09 Zone puits	<10 kg	Non Soumis
4725	Oxygène (numéro CAS 7782-44-7)	Atelier de maintenance Oxygène	H-09 Zone puits	<0,05 t	Non Soumis
4734	4734 - Produits pétroliers spécifiques et carburants de substitution : essences et naphtas ; kérosènes (carburants d'aviation compris) ; gazoles (gazole diesel, gazole de chauffage domestique et mélanges de gazoles compris) ; fioul lourd ; carburants de substitution pour véhicules, utilisés aux mêmes fins et aux mêmes usages et présentant des propriétés similaires en matière d'inflammabilité et de danger pour l'environnement	Aire carburant Gazole (ou gazole non routier)	H-01 Zone puits	51 t (60 m^3)	Déclaration avec contrôle (en considérant des cuves de stockage enterrées)
		Aire carburant Essence	A-04 Zone descenderie	7,5 t (10 m^3)	
		Aire carburant Gazole (ou gazole non routier)	A-04 Zone descenderie	8,5 t (10 m^3)	

Tableau 6-3 Tableau récapitulatif des IOTA situées sur le centre de stockage (hors INB)

Les IOTA identifiés hors du périmètre INB sont identiques en phase de construction initiale et en phase de fonctionnement et sont donc présentés dans un tableau unique.

Rubrique	Désignation	Installation/Ouvrage		Quantités projetées	Classement IOTA associé
		Nom	Référence		
1.1.1.0	Sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits ou d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécuté en vue de la recherche ou de la surveillance d'eaux souterraines ou en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines, y compris dans les nappes d'accompagnement de cours d'eau	Piézomètre de suivi/surveillance Centre de stockage Cigéo	/	Concerné	Déclaration
3.3.4.0	Travaux de recherche de stockages souterrains de déchets radioactifs : a) Travaux de recherche nécessitant un ou plusieurs forages de durée de vie supérieure à un an – A b) Autres travaux de recherche - D	Centre de stockage Cigéo	/	/	Autorisation

Les installations conventionnelles qui ne relèvent pas de la nomenclature ICPE/IOTA mais néanmoins, susceptibles de porter atteinte aux installations de l'INB sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 6-4 Identification des installations et ouvrages qui ne relèvent pas de la nomenclature ICPE situés sur le centre de stockage

Centre de stockage Cigéo	Installations et ouvrages concernés	
	Nom	Référence
Zone descenderie	Borne de remplissage déportée fioul	H-03
	Aires de stationnement	-
Zone puits	Aire de stationnement poids lourd/parking Silo	A-05
	Borne de remplissage déportée fioul	H-05

6.2 Les canalisations de transport et les lignes électriques

L'INB n'est reliée à aucun réseau de gaz externe. Le réseau GRTgaz le plus proche est situé à plus de 20 km[20].

Concernant les lignes électriques, une ligne électrique à très haute-tension (400 kV) passe à environ 300 mètres au nord de la zone descenderies et 2 km au sud de la zone puits. Cette ligne ne traverse pas la zone des installations de surface à l'exception de la zone des transformateurs destinée à la recevoir. Une zone d'exclusion constituée d'une bande de 75 mètres centrée sur l'axe de la ligne et des cercles de rayon de 60 mètres au droit de l'axe vertical des supports de la ligne est à respecter, aucune installation de l'INB ne se situe dans cette zone d'exclusion.

Compte tenu de leur implantation, les lignes électriques externes ne peuvent pas porter atteinte à l'installation nucléaire.

[20] À noter qu'une canalisation exclusivement dédiée aux enlèvements du gaz issu du gisement de Trois-Fontaines chemine à environ 700 m de la zone descenderie. Néanmoins, le site étant actuellement à l'arrêt (arrêté n° 2014-APC-77-IC du 26 septembre 2014 (17)), cette canalisation n'est pas prise en compte en donnée d'entrée du Volume 9 de la présente pièce.

6.3 Les voies de communication

6.3.1 Les voies de communication terrestres

6.3.1.1 Le réseau routier

Le réseau d'infrastructures routières autour des sites d'implantation de l'INB, est structuré autour de la route départementale D960 (en Meuse)/route départementale D60 (en Haute-Marne) d'orientation est-ouest. Elle relie la route nationale N67 au niveau de Joinville à l'ouest, et la route départementale D966 à Houdelaincourt à l'est en passant notamment par les communes de Saudron et Mandres-en-Barrois. Cette route est l'axe structurant desservant le centre de stockage Cigéo. C'est un itinéraire classé en Route à grande circulation (RGC). Cette route présente une largeur de sept mètres dans la Meuse. Elle est calibrée à six mètres en Haute Marne, sauf en traversée d'agglomération où elle présente une largeur de sept mètres.

Les autres axes secondaires passant à proximité des zones puits et descenderie sont (cf. Figure 6-2) :

- la route départementale D127 qui relie Hévilliers à Saudron en passant par Ribeaucourt et Bure ;
- la route départementale D132 qui relie la commune d'Horville-en-Ornois à Montiers-sur-Saulx en passant par Mandres-en-Barrois et Bure ;
- la route départementale D175 qui relie Montiers-sur-Saulx à Cirfontaines-en-Ornois en passant par Saudron ;
- la route départementale D966 qui traverse le secteur de référence du sud au nord pour relier Gondrecourt-le-Château à Ligny-en-Barrois ;

Les routes nationales les plus proches sont localisées au-delà d'un périmètre de 20 km : la route nationale N4 au nord (qui relie Toul à Saint-Dizier) et la route nationale N67 à l'ouest (reliant Chaumont à Saint-Dizier).

L'état du trafic a été étudié autour de la route départementale D60/960 qui est l'axe routier qui passe à proximité, et sur les principales routes du réseau précité. Les résultats sont présentés dans le volume 3 de la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC) (1) :

- autour des sites d'implantation de l'INB, le trafic n'excède pas 500 véhicules/jour ;
- il peut atteindre 5 000 véhicules/jour mais à plus de 10 km des sites d'implantation de l'INB.

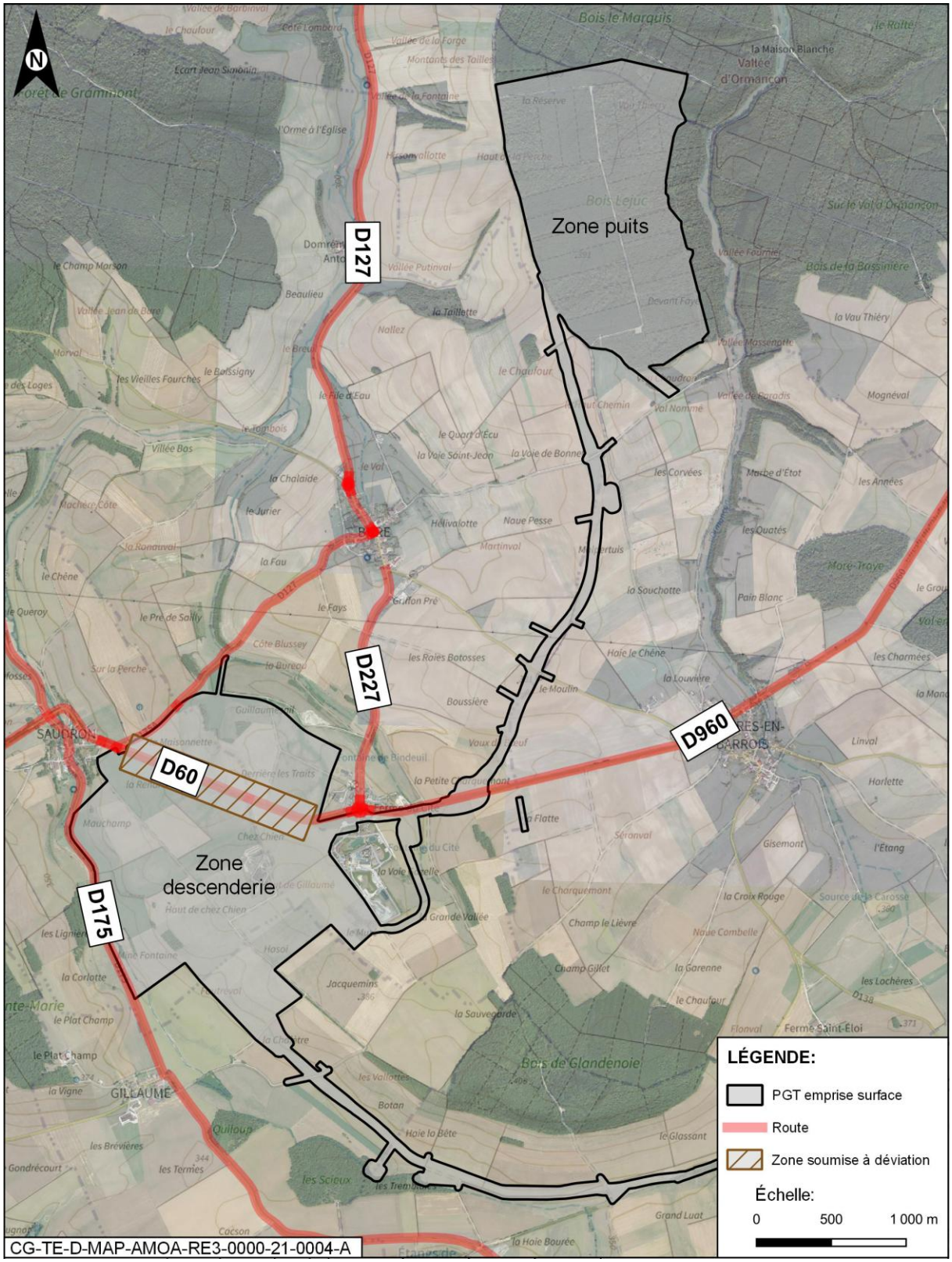


Figure 6-2 Réseau routier autour de l'INB Cigéo

6.3.1.2 Le réseau ferroviaire

Deux voies ferrées, non électrifiées, sont présentes autour des sites d'implantation de l'INB (cf. Figure 6-3) :

- la voie de chemin de fer reliant Chaumont à Saint-Dizier (en passant par Joinville) est située à une distance d'un peu plus de 20 km (à l'ouest) de la zone descenderie. Cette voie est utilisée à la fois pour le transport de passagers et le fret ;
- la voie reliant Bar-le-Duc à Commercy, à près de 20 km au nord de la zone descenderie ;
- la ligne ferroviaire 027000 qui reliait historiquement Gondrecourt-le-Château à Nançois-Tronville. Le tronçon entre Gondrecourt-le-Château et Ligny-en-Barrois est fermé à la circulation ferroviaire depuis 2014. Le tronçon situé entre Nançois-Tronville et Ligny-en-Barrois (environ 3 km) a été utilisé pour la desserte des silos de céréales de Ligny-en-Barrois et Gondrecourt-le-Château jusqu'en 2019 avant d'être lui aussi fermé à la circulation ferroviaire. À l'état actuel, aucun train ne circule sur la ligne ferroviaire 027000.

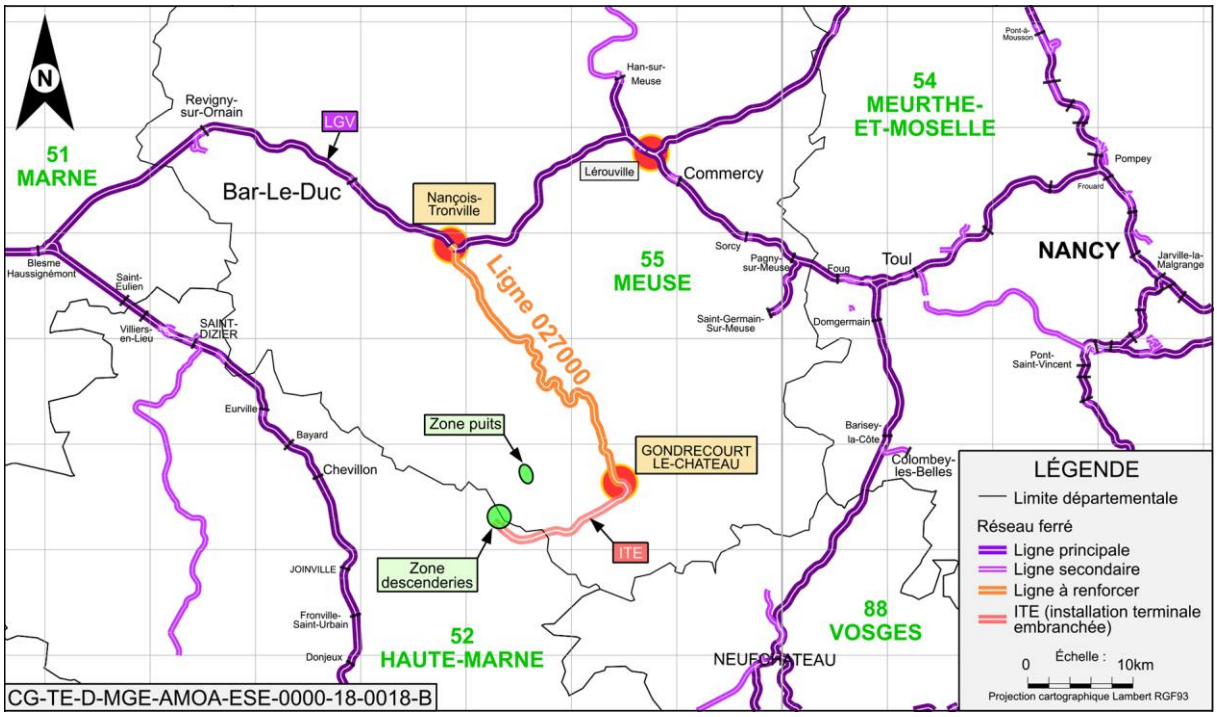


Figure 6-3 Réseau ferroviaire autour du centre de stockage Cigéo

6.3.1.3 Le réseau fluvial

Aucune voie navigable n'est identifiée dans l'environnement proche des sites d'implantation de l'INB. La voie navigable la plus proche est située à un peu plus de 10 km.

Trois canaux navigables sont recensés dans l'aire d'étude rapprochée :

- le canal de la Marne au Rhin Ouest : long de 132 km, il relie Vitry-le-François à Toul en passant par Bar-le-Duc, Ligny-en-Barrois et Houdelaincourt, à Toul, il est rejoint par le canal de la Meuse. Le canal de la Marne traverse l'aire d'étude immédiate dans sa partie nord ;
- le canal de la Meuse : long de 272 km, il relie Givet à Troussey (au nord de l'aire d'étude rapprochée). Anciennement appelée « canal de l'Est », cette liaison emprunte le plus souvent le lit de la Meuse ;
- le canal entre Champagne et Bourgogne : long de 224 km, il relie Vitry-le-François à Heuilley-sur-Saône, en passant par Saint-Dizier, Joinville ou encore Chaumont. Cette liaison était anciennement appelée « canal de la Marne à la Saône ». Le canal entre Champagne et Bourgogne est une voie commerciale entre la Seine et le Rhône.

La gestion de ces trois canaux est confiée à VNF (Voies navigables de France). Le gabarit des bateaux pouvant emprunter ces canaux ne doit pas excéder 50 m x 5,10 m et 250 t.

Ces trois canaux sont majoritairement utilisés pour la plaisance.

6.3.2 Les voies de communication aériennes

6.3.2.1 Les aérodromes

Concernant l'aviation générale, les aérodromes implantés actuellement dans un rayon de 30 km autour des sites d'implantation des installations de surface de l'INB sont :

- Joinville-Mussey, situé à environ 20 km au sud-ouest ;
- Saint-Dizier, situé à environ 20 km à l'ouest ;
- Bar-le-Duc, situé à environ 25 km au nord ;
- Neufchâteau, situé à environ 30 km à l'est.

Concernant l'aviation commerciale, les aérodromes les plus proches sont ceux d'Épinal (50 km) et de Nancy-Essey (55 km).

Concernant l'aviation militaire, les bases aériennes les plus proches sont la base 113 de Saint-Dizier (située à 35 km à l'ouest) et la base 133 de Nancy-Ochey (située à 47 km à l'est).

Les zones puits et descenderies sont situées :

- hors zone base militaire (distance supérieure à 30 km de l'aérodrome militaire le plus proche) ;
- hors zone aérodrome d'aviation générale (distance supérieure à 5 km de l'aérodrome le plus proche) et à moins de 20 km de l'aérodrome de Joinville (vols locaux) pour les installations de la zone descenderie ;
- hors zone aérodrome d'aviation générale (distance supérieure à 5 km de l'aérodrome le plus proche) et à plus de 20 km de l'aérodrome de Joinville (vols de voyages) pour les installations de la zone puits ;
- hors zone aérodrome d'aviation commerciale (distance supérieure à 20 km de l'aérodrome le plus proche) et sous couloir aérien.

Tableau 6-5 Environnement aérien autour de l'INB

Aérodrome	Type d'aviation	Trafic (en mouvement)
Joinville-Mussey	Général	Pas d'information disponible, par conservatisme, une valeur de 5 000 mouvements a été retenue
Saint-Dizier	Militaire	14 124 mouvements dont 1 767 pour l'aviation civile en 2007
	Général	Pas d'information disponible
Bar-le-Duc	Général	Pas d'information disponible
Neufchâteau	Général	Pas d'information disponible

6.3.2.2 Les couloirs aériens

Il existe un couloir aérien au-dessus de la zone dénommée « UL161 » (cf. Figure 6-4). Il s'agit d'un itinéraire situé dans l'espace supérieur de navigation et peu fréquenté à statut conditionnel car il interfère avec des activités militaires qui en ont la priorité.

Il existe aussi un itinéraire TACAN (*TACtical Air Navigation*) « R11 » au-dessus du niveau FL 195 (19 500 ft par rapport au niveau de la mer) utilisable uniquement par les avions militaires.

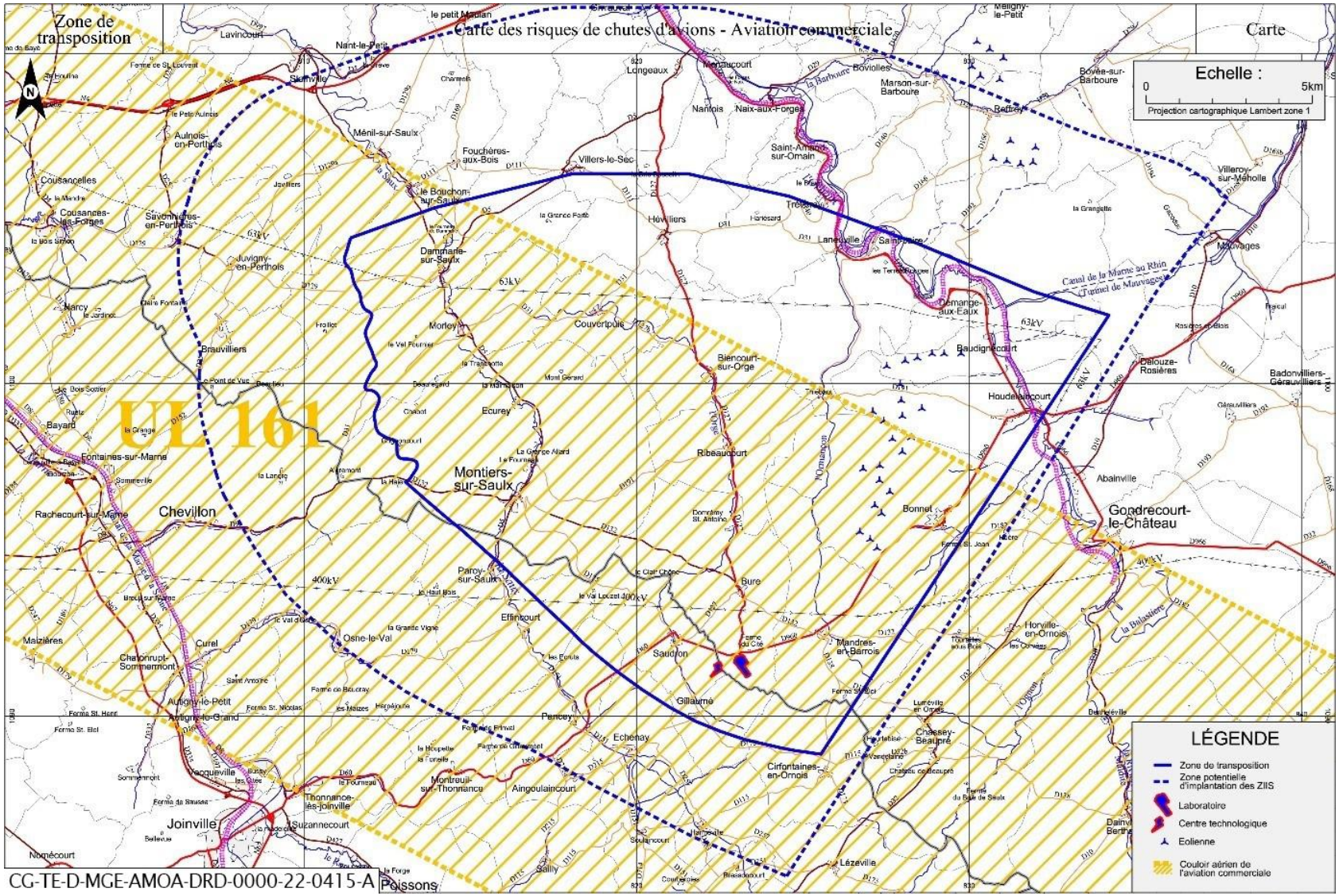


Figure 6-4 Environnement aérien—Couloirs aériens autour de l'INB

6.3.2.3 Les zones réglementées aériennes

Selon la figure 6-5 ci-après, plusieurs zones réglementées sont identifiées :

- zone R27 : zone réglementée protégeant la circulation des avions militaires autour de l'aérodrome de Saint-Dizier, et la circulation militaire en altitude ;
- zone R98B : zone réglementée protégeant la circulation des avions militaires autour des aérodromes de Nancy-Ochey et protégeant les départs/arrivées des avions de ligne à destination/en provenance de l'ouest de/vers Metz-Nancy-Lorraine et Nancy-Essey ;
- zone R45N5 : zone réglementée utilisée pour effectuer des entraînements à très basse altitude grande vitesse.

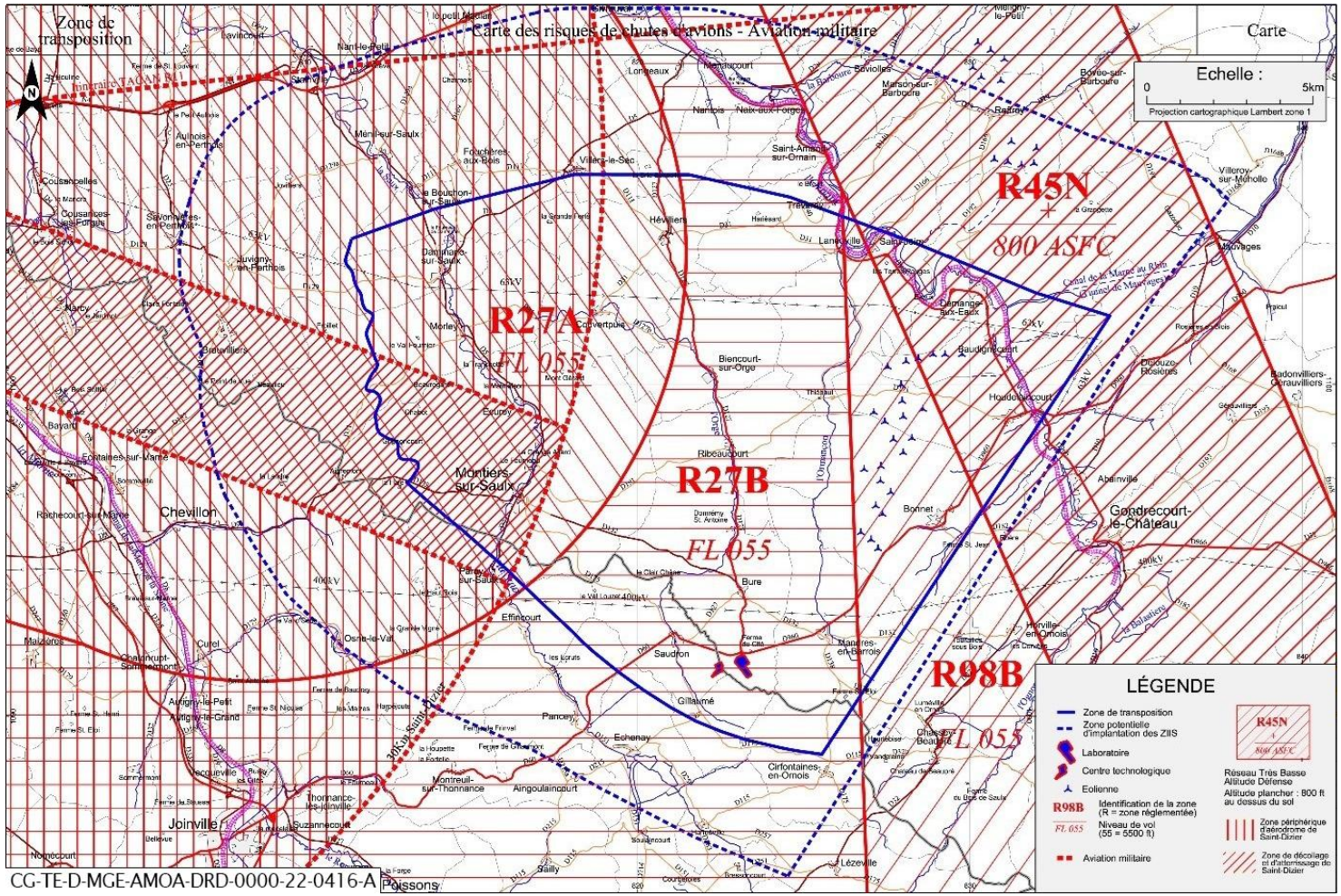


Figure 6-5 Environnement aérien–Zones réglementaires

Toute la zone se trouve :

- sous la zone TSA20A qui est dédiée à l'entraînement de combat au-dessus du niveau FL195 ;
- sous la zone réglementée R21 dédiée à l'entraînement de combat entre les niveaux FL115 et FL195.

6.4 Les activités projetées au voisinage de l'INB

6.4.1 Les activités ultérieures propres au projet global Cigéo

La voie ferrée, aujourd'hui inutilisée, qui relie Nançois-Tronville à Gondrecourt-le-Château fera l'objet de travaux de rénovation, et au bout de cette ligne, une installation terminale embranchée (ITE) sera réalisée pour permettre l'acheminement des matériaux puis des colis de déchets radioactifs depuis Gondrecourt-le-Château jusqu'à la zone descenderie.

En zone descenderie, la voie ferrée dessert :

- dans le périmètre de l'INB, le terminal ferroviaire nucléaire qui est raccordé au bâtiment nucléaire de surface EP1, au sud de celui-ci ;
- en dehors du périmètre de l'INB, le terminal ferroviaire fret, au sud.

Le réseau routier sera également impacté mais les modifications ne seront pas significatives : la route départementale D60/960 dans la partie qui relie Saudron à Mandres-en-Barrois sera déviée au nord afin de contourner la zone descenderie à une distance minimale de l'ordre de 650 mètres du périmètre de l'INB.

Des modifications ultérieures du réseau routier pourraient également voir le jour dans le cadre du contrat de développement du territoire, requis par le premier ministre, en lien avec la création du centre de stockage Cigéo ; les aménagements routiers associés ne sont pas encore définis précisément.

Par ailleurs, un héliport est prévu d'être créé sur la zone descenderie en dehors du périmètre de l'INB. La plateforme d'atterrissage sera destinée principalement à l'accueil d'hélicoptères du SAMU et en cas de crise, des autorités administratives compétentes (gendarmerie, armée, préfet, etc.). Elle est dimensionnée pour accueillir un seul hélicoptère.

6.4.2 Les autres projets

Au stade actuel, les projets d'installations industrielles ou autres[21], à proximité de l'INB et qui ont fait l'objet, d'une part, d'une étude d'incidence environnementale au titre de l'art R. 181-14 et d'une consultation du public ou, d'autre part, d'une évaluation environnementale au titre du code de l'environnement (avec un avis de l'autorité environnementale rendu public) sont les suivants :

- cinq parcs éoliens, le plus proche du site est le parc éolien « Éole du Piroy » qui serait situé à 10 km du site sur les communes de Osne le Val et Montreuil sur Thonnance ;
- la blanchisserie industrielle UNITECH destinée au secteur nucléaire qui serait située à Suzannecourt à un peu plus de 10 km de l'INB Cigéo ;
- deux centres photovoltaïques au sol qui seraient localisés à environ 5 km de l'INB Cigéo respectivement sur les communes de Biencourt-sur-Orge et Goussaincourt ;
- le projet de redémarrage du site de stockage souterrain de gaz naturel (méthane) qui est sur la commune de Trois-Fontaines-l'Abbaye à environ 20 km de l'INB Cigéo ;
- des travaux de déviation des canalisations de gaz naturel à Ligny-en Barrois, soit à environ 20 km de l'INB.

[21] Il est entendu par « autre » des projets de travaux ou construction dont la nature pourrait avoir une incidence sur l'INB sans prendre en compte la distance avec l'INB (cadre de l'analyse présentée dans le volume 9 du présent rapport). Il n'est, par exemple, pas retranscrit dans ce chapitre les travaux de construction de supermarchés, ponts, etc.

À cela s'ajoute, la plateforme de prétraitement de la biomasse « SYNDIESE », inaugurée en 2014 à Saudron à 2 km de l'INB (cf. Chapitre 6.1.1 du présent volume) et dont les activités pourraient évoluer. Si cette plateforme n'a actuellement qu'un statut ICPE soumise à enregistrement, elle concrétise la première étape d'un futur démonstrateur industriel pour la production de biocarburants de 2e génération. Le développement du projet SYNDIESE est à surveiller dans les années à venir.

Des réflexions en cours sur une stratégie de développement économique pour le territoire pourront également conduire à l'implantation de nouvelles activités, non encore définies à ce stade.

TABLEAU DE TRAÇABILITÉ DES PRINCIPALES ÉVOLUTIONS

Le tableau suivant précise les paragraphes qui présentent des évolutions ainsi que leur origine qui peut être de différente nature :

- évolution réglementaire : mise en cohérence avec les évolutions de réglementation post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- instruction technique avec l'ASNR : intégration de précisions apportées à l'ASNR en cours d'instruction technique en lien avec le contenu du dossier de DAC ;
- cohérence dossier : mise en cohérence entre pièces du dossier de DAC ;
- cohérence DR0 : mise en cohérence avec le dossier DR0 déposé post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- cohérence dossier de chiffrage : mise en cohérence avec le dossier de chiffrage déposé post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- cohérence dossiers PNGMDR : mise en cohérence avec les dossiers en réponse au PNGMDR déposés post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- cohérence politique énergétique : mise à jour de l'inventaire de réserve et des études de sûreté associées pour tenir compte des évolutions de politique énergétique. Ces éléments ont été communiqués à l'ASNR dans le cadre de l'instruction technique ;
- cohérence planning : intégration de la mise à jour de la date de mise en service annoncée post-dépôt initial du dossier de DAC ;
- cohérence conditionnement : mise en cohérence avec les évolutions de conditionnement des colis primaires annoncées par les producteurs post-dépôt initial du dossier de DAC.

Paragraphe actualisé		Actualisation liée à								
		Évolution réglementaire	Instruction technique avec l'ASNR	Cohérence dossier	Cohérence DR0	Cohérence dossier de chiffrage	Cohérence dossiers PNGMDR	Cohérence politique énergétique	Cohérence planning	Cohérence conditionnement
Préambule					X					
1.3.1.3	Le contexte sismotectonique de la partie orientale du Bassin parisien				X					
1.3.2	Le contexte géologique de la région de Meuse/Haute-Marne				X					
2.1.3.2	La description des écoulements			X						
3.2	La météorologie			X						
4.1	Les aires considérées				X					
4.3	L'état radiologique du milieu naturel				X					
5.5	Les activités agricoles et sylvicoles			X						

Paragraphe actualisé		Actualisation liée à								
		Évolution réglementaire	Instruction technique avec l'ASNR	Cohérence dossier	Cohérence DR0	Cohérence dossier de chiffrage	Cohérence dossiers PNGMDR	Cohérence politique énergétique	Cohérence planning	Cohérence conditionnement
6.1	Les activités, installations, ouvrages, travaux			X	X					
6.2	Les canalisations de transport et les lignes électriques			X						
6.4.2	Les autres projets			X						

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1-1	Cadre géographique général du Bassin parisien et localisation du site d'implantation	11
Figure 1-2	Carte topographique régionale autour de l'INB et en particulier des zones puits et descenderie	12
Figure 1-3	Bloc diagramme 3D géologique des formations géologiques du Bassin parisien	13
Figure 1-4	Contexte géodynamique de la plateforme ouest-européenne	15
Figure 1-5	Cadre structural du nord-est du Bassin parisien avec le secteur de Meuse/Haute-Marne identifié par le cercle rouge	16
Figure 1-6	Carte de sismicité instrumentale (1962-2020) et localisation du secteur d'étude en rouge	17
Figure 1-7	Contexte géographique et géologique général du secteur de Meuse/Haute-Marne en pointillé (en bleu : la zone de transposition ; en rouge : la zone d'intérêt pour une recherche approfondie)	18
Figure 1-8	Log stratigraphique des formations sédimentaires rencontrées à l'aplomb du site d'implantation de l'INB (profondeur des formations données au niveau du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne)	19
Figure 1-9	Carte géologique du secteur de Meuse/Haute-Marne présentant l'aire d'étude immédiate correspondant au site d'implantation de l'INB et, pour mémoire, les installations relevant du projet global Cigéo (ligne 027000 en particulier)	21
Figure 1-10	Schéma structural du secteur d'étude de Meuse/Haute-Marne	23
Figure 1-11	Schéma structural et extension des failles et réseaux de failles en profondeur encadrant la zone de transposition	25
Figure 1-12	Cartographie présentant la localisation des stations sismiques régionales et des stations sismiques Andra (RES) mises en place dans un rayon de 30 km autour des zones d'implantations de l'INB visualisée par le rectangle rouge	26
Figure 1-13	Carte de la sismicité totale (naturelle, induite et tirs de carrière) de 1962 à fin 2020. Légendes : eq : séisme ; si : séisme présumé induit	28
Figure 1-14	Carte de l'épaisseur (m) des Calcaires du Barrois et des formations plus récentes (sur la zone d'implantation et de recherche approfondie, cette épaisseur correspond à l'épaisseur des Calcaires du Barrois)	31
Figure 1-15	Grands ensembles lithologiques du Kimméridgien marneux	33
Figure 1-16	Log stratigraphique de la formation encaissante de l'Oxfordien	35
Figure 1-17	Épaisseur de la formation du Callovo-Oxfordien sur la ZIRA (distance en mètres entre la base et le toit de la formation	37
Figure 1-18	Carte de l'altitude du toit du Callovo-Oxfordien (SNC) sur la ZIRA (en mètres)	39
Figure 1-19	Carte de l'altitude du mur du Callovo-Oxfordien (LS0) sur la ZIRA (en mètres)	40
Figure 1-20	Profondeur du mur du Callovo-Oxfordien sur la ZIRA qui représentent l'intervalle en mètre entre la surface topographique et la carte d'altitude du mur du Callovo-Oxfordien	41

Figure 1-21	Photographie d'un échantillon d'argilite du Callovo-Oxfordien prélevé dans un forage du Laboratoire de recherche souterrain de Meuse/Haute-Marne (unité argileuse UA)	42
Figure 1-22	Évolution nord-est- sud-ouest (transect d'environ 32 kilomètres) des trois séquences sédimentaires identifiées dans le Callovo-Oxfordien	43
Figure 1-23	Évolutions verticales des phases minéralogiques principales (argiles, tectosilicates et carbonates) dans la formation du Callovo-Oxfordien. Les données sont présentées selon leur hauteur relative dans la formation du Callovo-Oxfordien (0 = toit et 1 = base)	44
Figure 1-24	Illustration de l'homogénéité latérale de l'organisation verticale du Callovo-Oxfordien sur le secteur étudié (enregistrement diagraphique Gamma Ray)	45
Figure 1-25	Principales unités géologiques de la formation 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 LS0 et SNC	46
Figure 1-26	Coupe NO-SE du bloc sismique 3D haute résolution réalisé en 2009 montrant l'absence de structures tectoniques affectant la série sédimentaire à l'aplomb de la ZIRA	47
Figure 1-27	Schématisation de la texture et de la porosité des argilites du Callovo-Oxfordien aux échelles infracentimétriques	49
Figure 1-28	Représentation schématique de la fracturation induite autour des ouvrages suivant leurs orientations par rapport à la contrainte horizontale majeure. (a) Galerie orientée suivant la contrainte horizontale mineure. (b) Galerie orientée suivant la contrainte majeure (Armand et al., 2014 (8)	52
Figure 1-29	Illustration du colmatage des fractures dans l'UA, à partir d'une photographie MEB (échelle millimétrique)	54
Figure 2-1	Modèle conceptuel des écoulements dans les formations géologiques du secteur Meuse/Haute-Marne	61
Figure 2-2	Schéma du fonctionnement hydrogéologique des Calcaires du Barrois	63
Figure 2-3	Coupe nord-est/sud-ouest schématique structurale des formations géologiques juste au-dessus et en dessous des argilites du Callovo-Oxfordien	65
Figure 2-4	Cartes piézométriques de la nappe supérieure (gauche) et inférieure (droite) de l'Oxfordien carbonaté	67
Figure 2-5	Carte piézométrique observée du Bathonien (Dogger)	69
Figure 2-6	Synthèse des informations hydrogéologiques des relations de l'Orge, de La Bureau et de l'Ormançon avec l'aquifère des Calcaires du Barrois	72
Figure 2-7	Carte de localisation des points de suivi des eaux de surface	74
Figure 2-8	Hauteurs d'eau simulées en surface au niveau de la zone descenderies (installation de l'INB) avec et sans réseau de drainage. Le réseau de drainage ne permet pas d'évacuer les accumulations d'eaux de surface (zones en rouge au nord de la zone descenderies), créées par l'exhumation de terrains peu-perméables dans des dépressions topographiques	77
Figure 3-1	Zones climatiques, température moyenne annuelle (°C), précipitations moyennes annuelle (mm) et nombre de jours de pluie sur la période de référence 1981-2010) (9)	81
Figure 3-2	Évolution des températures moyennes annuelles (en degré °C) mesurées à Saint-Dizier et Cirfontaines (1980-2019), à Bure (station EST6000 2009-2019) et à Houdelaincourt (2012-2019)	84
Figure 3-3	Cycle saisonnier moyen des températures min. et max.	86
Figure 3-4	Cycles annuels moyens des précipitations établis sur la période 1993-2019 pour les stations de Saint-Dizier et Cirfontaines	89

Figure 3-5	Cycles annuels moyens des précipitations établis sur la période 2012-2019 pour les stations de Saint-Dizier, Cirfontaines, Houdelaincourt et EST6000	89
Figure 3-6	Évolution du cumul annuel moyen de précipitations à Saint-Dizier, Cirfontaines, EST6000 et Houdelaincourt entre 1980 et 2019	90
Figure 3-7	Roses des vents par classe de vitesse à la station de Saint-Dizier sur la période 1999-2019 (en haut à gauche), 2012-2019 (en haut à droite) et à la station de Houdelaincourt sur la période 2012-2019 (en bas à droite)	93
Figure 3-8	Carte des tornades ayant eu lieu en France entre 1680 et 2018 recensées et validées par l'observatoire Keraunos. Source : Keraunos	95
Figure 3-9	Durées d'ensoleillement moyen (en heures) à Saint-Dizier (1980-2019)	96
Figure 3-10	Durées d'ensoleillement moyen (en heures) à Houdelaincourt (2012-2020)	97
Figure 3-11	La classification de Køppen-Trewartha (fondée sur les précipitations et les températures)	99
Figure 3-12	Schéma de l'évolution du climat sur la Meuse/Haute-Marne dans le cas d'un scénario climatique global perturbé (scénario B4)	100
Figure 3-13	Évolution de la classification bioclimatique avec les résultats du modèle iLOVECLIM-zoomé	101
Figure 3-14	Évolution de la classification bioclimatique avec les résultats du modèle iLOVECLIM-zoomé pour N = 2 pour les T°	102
Figure 3-15	Évolution de la classification bioclimatique avec les résultats du modèle iLOVECLIM-zoomé avec N = 2 pour les T° et P	102
Figure 4-1	Visualisation des aires d'études immédiates et éloignées, ainsi que, pour mémoire celle de la ligne 400 kV, considérées dans la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (1)	108
Figure 4-2	Zonages environnementaux en région Grand Est	111
Figure 4-3	Zonages environnementaux dans l'aire d'étude éloignée	112
Figure 5-1	Paysage actuel vu depuis Gillaumé au lieu prévu d'implantation de la zone descenderie	120
Figure 5-2	Population dans les communes autour de la zone d'implantation de l'INB Cigéo en 2017 (figure extraite de la pièce 6 « Étude d'impact du projet global Cigéo » (1))	123
Figure 5-3	Le village de Bure	125
Figure 6-1	Sites SEVESO recensés autour du centre de stockage Cigéo (1)	131
Figure 6-2	Réseau routier autour de l'INB Cigéo	157
Figure 6-3	Réseau ferroviaire autour du centre de stockage Cigéo	158
Figure 6-4	Environnement aérien−Couloirs aériens autour de l'INB	161
Figure 6-5	Environnement aérien−Zones réglementaires	163

Tableaux

Tableau 1-1	Correspondance des formations géologiques aux dénominations locales et les formations géologiques à l'affleurement présentés sur la carte géologique	20
Tableau 1-2	Formations géologique sédimentaires au droit de la zone d'implantation de l'INB	29
Tableau 2-1	Tableau des caractéristiques des bassins versants de la zone d'implantation de l'INB	73
Tableau 2-2	Synthèses des débits des cours d'eau situés à proximité immédiate de l'INB	74
Tableau 3-1	Caractéristiques des stations de Saint-Dizier, Cirfontaines-en-Ornois et Houdelaincourt	82
Tableau 3-2	Les principales données climatiques sur la période 1981-2010 des stations de Saint-Dizier et de Cirfontaines-en-Ornois	83
Tableau 3-3	Les principales données climatiques sur la période 1981-2010 des stations de Saint-Dizier et de Cirfontaines-en-Ornois	83
Tableau 3-4	Moyenne, écart type, minimum et maximum des températures moyenne annuelles des deux stations Météo-France Saint-Dizier et Cirfontaines, établies sur la période 1980-2019	83
Tableau 3-5	Moyenne, minimum et maximum des températures moyenne annuelles des trois stations Météo-France Saint-Dizier, Cirfontaines et Houdelaincourt ainsi que EST6000 sur la période 2012-2019.	84
Tableau 3-6	Températures moyennes annuelles enregistrées à Saint-Dizier et à Houdelaincourt (2012-2019)	85
Tableau 3-7	Extrema de températures enregistrées à Saint-Dizier sur la période 01-06-1953 au 21-09-2020	87
Tableau 3-8	Extrema de températures enregistrées à Cirfontaines sur la période 01-01-1959 au 21-09-2020	87
Tableau 3-9	Moyenne, écart type, minimum et maximum des cumuls annuels de précipitations des deux stations Météo-France Saint-Dizier sur la période 1980-2019 et Cirfontaines, sur la période 1993-2019	88
Tableau 3-10	Moyenne, minimum et maximum des cumuls annuels de précipitations des trois stations Météo-France Saint-Dizier, Cirfontaines et Houdelaincourt et de la station EST6000, sur la période 2012-2019	88
Tableau 3-11	Nombre de jours pluvieux moyen par mois pour la station de Saint-Dizier sur la période 1981-2010	90
Tableau 3-12	Nombre de jours pluvieux moyen par mois pour la station de Cirfontaines sur la période 1981-2010	91
Tableau 3-13	Hauteurs quotidiennes maximales de précipitations (mm) enregistrées à la station de Saint-Dizier entre avril 1954 et septembre 2020	91
Tableau 3-14	Hauteurs quotidiennes maximales de précipitations (mm) enregistrées à la station de Cirfontaines entre 1992 et 2020	91
Tableau 3-15	Nombre moyen de jour de brouillard, d'orage, de grêle ou de neige à la station de Saint-Dizier sur la période 1981-2010	92
Tableau 3-16	Moyenne des humidités relatives mensuelles (en %) à Saint-Dizier (1980-2019)	96
Tableau 4-1	Description des aires d'études immédiates et éloignées retenues dans l'étude d'impact du présent dossier de demande d'autorisation de création (DAC)	107
Tableau 4-2	Synthèse des niveaux de radioactivité mesurés dans la faune et la flore sur la période 2002-2013	117
Tableau 5-1	Nombre de communes, superficie, population à proximité de la zone d'implantation de l'INB	121
Tableau 5-2	Nombre d'habitants des communes à proximité immédiate de l'INB	122
Tableau 5-3	Population par tranche d'âges en 2017 pour les différentes zones	124

Tableau 6-1	Tableau récapitulatif des ICPE en phase de construction initiale situées sur le centre de stockage (hors INB)	133
Tableau 6-2	Tableau récapitulatif des ICPE en phase de fonctionnement situées sur le centre de stockage (hors INB)	145
Tableau 6-3	Tableau récapitulatif des IOTA situées sur le centre de stockage (hors INB)	154
Tableau 6-4	Identification des installations et ouvrages qui ne relèvent pas de la nomenclature ICPE situés sur le centre de stockage	155
Tableau 6-5	Environnement aérien autour de l'INB	159

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 6 - Étude d'impact du projet global Cigéo. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-EDM-AMOA-ESE-0000-22-0005.

2 Le socle de connaissances scientifiques et techniques du centre de stockage Cigéo - Les référentiels de connaissances. Tome I du référentiel de site - L'histoire géologique et état actuel. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-RAP-AMOA-GE0-0000-20-0003.

3 Le socle de connaissances scientifiques et techniques du centre de stockage 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 (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-ESE-0000-20-0018.

4 Baize, S., Cushing, E., Lemeille, F., Jomard, H. Updated seismotectonic zoning scheme of Metropolitan France, with reference to geologic and seismotectonic data. Bulletin de la société géologique de France (2013). Vol. 184, N°3, pp.225-259.

5 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 Delta (sub 47) temperature, delta (super 18) O (sub water) and U/Pb age. Chemical geology (2018). Vol. 481, pp.1-17.

6 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.

7 Le socle de connaissances scientifiques et techniques du centre de stockage Cigéo - Les référentiels de connaissances. Le comportement des radionucléides et des toxiques chimiques. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-SR2-0000-20-0022.

8 Le socle de connaissances scientifiques et techniques du centre de stockage Cigéo - Les notes conceptuelles. Le modèle hydrogéologique à l'actuel et son évolution sur le prochain million d'années. Andra (2025). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-GE0-0000-20-0002.

9 Le climat en France métropolitaine. Météo-France (2023). Consulté le 08/08/2025. Disponible à l'adresse : https://meteofrance.com/comprendre-climat/france/le-climat-en-france-metropolitaine.

10 Atlas zones inondables de la région Lorraine. Direction de l'environnement (Diren) Lorraine (2007). Consulté le 28/10/2019. Disponible à l'adresse : http://www.geocatalogue.fr/Detail.do?id=2279.

11 Directive 2009/147/CE du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 concernant la conservation des oiseaux sauvages (version consolidée du 26 juin 2019). Parlement européen; Conseil de l'Union européenne (2019). Journal officiel de l'Union européenne, N°CELEX:02009L0147.

12 Dossier départemental des risques majeurs (DDRM). Département de la Haute-Marne (2017). 108 p. Disponible à l'adresse : https://www.haute-marne.gouv.fr/content/download/10117/73020/file/DDRM%202017_signe.pdf.

13 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.

14 Arrêté du 7 février 2012 fixant les règles générales relatives aux installations nucléaires de base (version consolidée au 24 septembre 2018). Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement; Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie (2018). Journal officiel de la République française (JORF), N°DEVP1202101A.

15 Dossier d'autorisation de création de l'installation nucléaire de base (INB) Cigéo. Pièce 5 - Plans détaillés de l'installation à l'échelle 1/2 500e. Andra (2026). Document N°CG-TE-D-NTE-AMOA-CM0-0000-21-0004.

16 Directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution) (refonte) (version consolidée au 4 août 2024). Parlement européen; Conseil de l'Union européenne (2024). Journal officiel de l'Union européenne, N°CELEX:32010L0075.

17 Arrêté inter-préfectoral n° 2014-APC-77-IC modifiant l'arrêté du 26 mai 2010 et portant prescriptions complémentaires pour l'exploitation par la société STORENGY du stockage souterrain de gaz naturel et des installations de surface de la station centrale liées à ce stockage. Préfecture de la Haute-Marne; Préfecture de la Meuse; Préfecture la Marne (2014), N°2014-APC-77-IC.

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